

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2003年 3月28日
Date of Application:

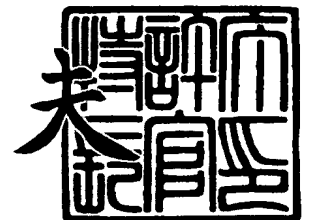
出願番号 特願2003-092350
Application Number:
[ST. 10/C]: [JP 2003-092350]

出願人 ソニー株式会社
Applicant(s):

2004年 1月13日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井 康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 0390151004

【提出日】 平成15年 3月28日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 B25J 13/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社
内

【氏名】 福地 正樹

【発明者】

【住所又は居所】 東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号 ソニー株式会社
内

【氏名】 佐部 浩太郎

【特許出願人】

【識別番号】 000002185

【氏名又は名称】 ソニー株式会社

【代理人】

【識別番号】 100067736

【弁理士】

【氏名又は名称】 小池 晃

【選任した代理人】

【識別番号】 100086335

【弁理士】

【氏名又は名称】 田村 榮一

【選任した代理人】

【識別番号】 100096677

【弁理士】

【氏名又は名称】 伊賀 誠司

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 019530

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9707387

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 行動制御装置、行動制御方法及び行動制御プログラム、並びに移動型ロボット装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 移動型ロボット装置の行動を制御する行動制御装置において、離散的に配置されたランドマークを認識するランドマーク認識手段と、

前記ランドマーク認識手段が認識した全てのランドマークの位置を統合し、それらのランドマークの幾何学的な位置関係に基づいてランドマーク地図を作成するランドマーク地図作成手段と、

前記ランドマーク地図作成手段が作成した前記ランドマーク地図から移動型ロボット装置の行動可能な範囲を示す行動可能領域地図を作成する行動可能領域認識手段と、

前記行動可能領域認識手段が作成した行動可能領域地図を用いて前記移動型ロボット装置の自律的な行動を制御する行動制御手段と

を備えることを特徴とする行動制御装置。

【請求項 2】 前記ランドマーク地図作成手段は、前記ランドマーク認識手段によって認識されたランドマーク情報と、ロボット装置自身のオドメトリ情報を統合してランドマークの幾何的な位置を推定し、これをランドマーク地図として出力することを特徴とする請求項 1 記載の行動制御装置。

【請求項 3】 前記行動制御手段は、ロボット装置周辺の環境の障害物地図に、前記行動可能領域地図を仮想的な障害物として加え、当該障害物地図内において、自由領域と判定された領域のみを移動するようにロボット装置の行動を制御することを特徴とする請求項 1 記載の行動制御装置。

【請求項 4】 移動型ロボット装置の行動を制御するための行動制御方法において、

離散的に配置されたランドマークを認識するランドマーク認識工程と、

前記ランドマーク認識工程が認識した全てのランドマークの位置を統合し、それらのランドマークの幾何学的な位置関係に基づいてランドマーク地図を作成するランドマーク地図作成工程と、

前記ランドマーク地図作成工程が作成した前記ランドマーク地図から移動型ロボット装置の行動可能な範囲を示す行動可能領域地図を作成する行動可能領域認識工程と、

前記行動可能領域認識工程が作成した行動可能領域地図を用いて前記移動型ロボット装置の自律的な行動を制御する行動制御工程と
を備えることを特徴とする行動制御方法。

【請求項 5】 移動型ロボット装置によって実行されてその行動を制御するための行動制御プログラムにおいて、

離散的に配置されたランドマークを認識するランドマーク認識工程と、

前記ランドマーク認識工程が認識した全てのランドマークの位置を統合し、それらのランドマークの幾何学的な位置関係に基づいてランドマーク地図を作成するランドマーク地図作成工程と、

前記ランドマーク地図作成工程が作成した前記ランドマーク地図から移動型ロボット装置の行動可能な範囲を示す行動可能領域地図を作成する行動可能領域認識工程と、

前記行動可能領域認識工程が作成した行動可能領域地図を用いて前記移動型ロボット装置の自律的な行動を制御する行動制御工程と
を備えてなることを特徴とする行動制御プログラム。

【請求項 6】 頭部ユニットと、少なくとも 1 以上の可動脚ユニットと、情報処理手段を有する胴体ユニットとを備えてなり、床面上の物体を認識しながら前記可動脚ユニットを用いて床面を移動する移動型ロボット装置において、

前記床面上に離散的に配置されたランドマークを認識するランドマーク認識手段と、

前記ランドマーク認識手段が認識した全てのランドマークの位置を統合し、それらのランドマークの幾何学的な位置関係に基づいてランドマーク地図を作成するランドマーク地図作成手段と、

前記ランドマーク地図作成手段が作成した前記ランドマーク地図から移動型ロボット装置の行動可能な範囲を示す行動可能領域地図を作成する行動可能領域認識手段と、

前記行動可能領域認識手段が作成した行動可能領域地図を用いて前記移動型ロボット装置の自律的な行動を制御する行動制御手段と
を備えることを特徴とする移動型ロボット装置。

【請求項 7】 前記ランドマーク地図作成手段は、前記ランドマーク認識手段によって認識されたランドマーク情報と、ロボット装置自身のオドメトリ情報を統合してランドマークの幾何的な位置を推定し、これをランドマーク地図として出力することを特徴とする請求項 6 記載の移動型ロボット装置。

【請求項 8】 前記行動制御手段は、ロボット装置周辺の環境の障害物地図に、前記行動可能領域地図を仮想的な障害物として加え、当該障害物地図内において、自由領域と判定された領域のみを移動するようにロボット装置の行動を制御することを特徴とする請求項 6 記載の移動型ロボット装置。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は行動制御装置及び行動制御方法に関し、特に移動型ロボット装置に適用されて当該移動型ロボット装置が床面上の物体を認識しながら移動するための行動制御装置、行動制御方法及び行動制御プログラムに関する。また、床面上の物体を認識しながら自律的に移動する移動型ロボット装置に関する。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

電氣的又は磁氣的な作用を用いて人間（生物）の動作に似た運動を行う機械装置を「ロボット」という。我が国においてロボットが普及し始めたのは、1960年代末からであるが、その多くは、工場における生産作業の自動化・無人化等を目的としたマニピュレータ及び搬送ロボット等の産業用ロボット（Industrial Robot）であった。

【0 0 0 3】

最近では、人間のパートナーとして生活を支援する、即ち住環境その他の日常生活上の様々な場面における人的活動を支援する実用ロボットの開発が進められている。このような実用ロボットは、産業用ロボットとは異なり、人間の生活環

境の様々な局面において、個々に個性の相違した人間、又は様々な環境への適応方法を自ら学習する能力を備えている。例えば、犬又は猫のように4足歩行の動物の身体メカニズム及びその動作を模した「ペット型」ロボット、或いは、2足直立歩行を行う人間等の身体メカニズム及びその動作をモデルにしてデザインされた「人間型」又は「人間形」ロボット（Humanoid Robot）等のロボット装置は、既に実用化されつつある。

【0 0 0 4】

これらのロボット装置は、産業用ロボットと比較して、例えばエンターテインメント性を重視した様々な動作等を行うことができるため、エンターテインメントロボットと呼称される場合もある。また、そのようなロボット装置には、外部からの情報及び内部の状態に応じて自律的に動作するものがある。

【0 0 0 5】

ところで、前記産業用ロボットには、特開平6-226683号公報等の開示されているように、建築現場や工場の中にて敷設されたラインや磁気情報を用いて行動範囲を認識し、作業を行ういわゆる作業ロボットが用いられている。また、工場の中において予め与えられた環境地図を用いて、許可された領域内だけで作業を行う作業ロボットも用いられている。

【0 0 0 6】

【特許文献1】

特開平6-226683号

【0 0 0 7】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、前記特許文献1等に記載の作業ロボットは、既知の地図情報等に基づくタスク遂行型ロボットであり、いずれも自律的に行動しているものではない。

【0 0 0 8】

また、例えば、建築現場や工場内にて前記作業ロボットの移動領域等の変更を備え、ラインの敷設や磁気情報を変更するには、変更の作業に時間と労力が必要になる。特に規模が大きい工場などでは敷設の変更作業は面倒である。また、工

場内では、自由度が少ない。

【0 0 0 9】

これに対して、自律型ロボット装置において、自身の周りの環境を認識して障害物等を判断し、それに応じて移動する能力は言うまでもなく重要である。

【0 0 1 0】

本発明は、前記実情に鑑みてなされたものであり、自律的に移動する移動型ロボット装置にあつて、ランドマークを用いて前記ロボット装置の行動範囲を簡便に制約することができる行動制御装置、行動制御方法及び行動制御プログラムの提供を目的とする。また、ランドマークを用いて行動範囲を簡便に制約することができる移動型ロボット装置の提供を目的とする。

【0 0 1 1】

【課題を解決するための手段】

本発明に係る行動制御装置は、前記課題を解決するために、移動型ロボット装置の行動を制御する行動制御装置において、離散的に配置されたランドマークを認識するランドマーク認識手段と、前記ランドマーク認識手段が認識した全てのランドマークの位置を統合し、それらのランドマークの幾何学的な位置関係に基づいてランドマーク地図を作成するランドマーク地図作成手段と、前記ランドマーク地図作成手段が作成した前記ランドマーク地図から移動型ロボット装置の行動可能な範囲を示す行動可能領域地図を作成する行動可能領域認識手段と、前記行動可能領域認識手段が作成した行動可能領域地図を用いて前記移動型ロボット装置の自律的な行動を制御する行動制御手段とを備える。

【0 0 1 2】

本発明に係る行動制御方法は、前記課題を解決するために、移動型ロボット装置の行動を制御するための行動制御方法において、離散的に配置されたランドマークを認識するランドマーク認識工程と、前記ランドマーク認識工程が認識した全てのランドマークの位置を統合し、それらのランドマークの幾何学的な位置関係に基づいてランドマーク地図を作成するランドマーク地図作成工程と、前記ランドマーク地図作成工程が作成した前記ランドマーク地図から移動型ロボット装置の行動可能な範囲を示す行動可能領域地図を作成する行動可能領域認識工程と

、前記行動可能領域認識工程が作成した行動可能領域地図を用いて前記移動型ロボット装置の自律的な行動を制御する行動制御工程とを備える。

【0 0 1 3】

本発明に係る行動制御プログラムは、前記課題を解決するために、移動型ロボット装置によって実行されてその行動を制御するための行動制御プログラムにおいて、離散的に配置されたランドマークを認識するランドマーク認識工程と、前記ランドマーク認識工程が認識した全てのランドマークの位置を統合し、それらのランドマークの幾何学的な位置関係に基づいてランドマーク地図を作成するランドマーク地図作成工程と、前記ランドマーク地図作成工程が作成した前記ランドマーク地図から移動型ロボット装置の行動可能な範囲を示す行動可能領域地図を作成する行動可能領域認識工程と、前記行動可能領域認識工程が作成した行動可能領域地図を用いて前記移動型ロボット装置の自律的な行動を制御する行動制御工程とを備えてなる。

【0 0 1 4】

本発明に係る移動型ロボット装置は、前記課題を解決するために、頭部ユニットと、少なくとも 1 以上の可動脚ユニットと、情報処理手段を有する胴体ユニットとを備えてなり、床面上の物体を認識しながら前記可動脚ユニットを用いて床面を移動する移動型ロボット装置において、前記床面上に離散的に配置されたランドマークを認識するランドマーク認識手段と、前記ランドマーク認識手段が認識した全てのランドマークの位置を統合し、それらのランドマークの幾何学的な位置関係に基づいてランドマーク地図を作成するランドマーク地図作成手段と、前記ランドマーク地図作成手段が作成した前記ランドマーク地図から移動型ロボット装置の行動可能な範囲を示す行動可能領域地図を作成する行動可能領域認識手段と、前記行動可能領域認識手段が作成した行動可能領域地図を用いて前記移動型ロボット装置の自律的な行動を制御する行動制御手段とを備える。

【0 0 1 5】

本発明において、行動制御装置は、ランドマークの幾何学的な位置関係からロボット装置の行動可能な範囲を求め、この行動可能範囲にしたがってロボット装置の行動を制御する。

【0016】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態について説明する。この実施の形態は、本発明に係る行動制御装置を適用した移動型ロボット装置である。行動制御装置は、ランドマークの幾何学的な位置関係からロボット装置の行動可能な範囲を求め、この行動可能範囲にしたがってロボット装置の行動を制御する。

【0017】

このような行動制御装置を搭載する移動型ロボット装置としては、エンターテインメント用等の例えばヒューマノイド型の2足歩行のロボット装置、及び、4足歩行の動物型ロボット装置等を使用することができる。また、いずれかの足又は全ての足に車輪を設け、電動にて自走するロボット装置を使用することもできる。

【0018】

例えば、2足歩行のロボット装置としては、図1に示すように、ロボット装置1の体幹部ユニット2の所定の位置に頭部ユニット3が連結されると共に、左右2つの腕部ユニット4R/Lと、左右2つの脚部ユニット5R/Lが連結されて構成されるものがある（但し、R及びLの各々は、右及び左の各々を示す接尾辞である。以下において同じ。）。また、4足歩行の動物型ロボット装置としては、「犬」を模した形状のいわゆるペットロボットとされる図2に示すようなものがある。このロボット装置11は、胴体部ユニット12の前後左右にそれぞれ脚部ユニット13A、13B、13C、13Dが連結されると共に、胴体部ユニット12の前端部及び後端部にそれぞれ頭部ユニット14及び尻尾部ユニット15が連結されて構成されている。

【0019】

これらのロボット装置は、何れも頭部ユニットにCCD (charge coupled device) /CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) 撮像素子を用いた小型カメラを視覚センサとして有しており、離散的に配置された人工的な目印であるランドマークを画像処理により検出し、ロボット装置に対する相対的なランドマークの位置を獲得することができる。本実施の形態では、これをランドマ

ークセンサとして使用する。以下、本実施の形態においては、本発明を、ヒューマノイド型の2足歩行のロボット装置に適用した例について説明する。

【0020】

図3は、2足歩行のロボット装置の概略を示すブロック図である。図3に示すように、ロボット装置1の頭部ユニット250には、2台のCCDカメラ200R、200Lが設けられ、このCCDカメラ200R、200Lの後段には、ステレオ画像処理装置210が設けられている。2台のCCDカメラ（以下、右目200R、左目200Lという。）により撮像された右目画像201R、左目画像201Lは、ステレオ画像処理装置210に入力される。ステレオ画像処理装置210は、各画像201R、201Lの視差情報（disparity data）（距離情報）を計算し、カラー画像（YUV：輝度Y、UV色差）202及び視差画像（YDR：輝度Y、視差D、信頼度R）203をフレーム毎に左右交互に算出する。ここで、視差とは、空間中のある点が左目及び右目に写像される点の違いを示し、そのカメラからの距離に応じて変化するものである。

【0021】

このカラー画像202及び視差画像203はロボット装置1の体幹部260に内蔵されたCPU（制御部）220に入力される。また、ロボット装置1の各関節にはアクチュエータ230が設けられており、CPU220からの指令となる制御信号231が供給されて、その指令値に応じてモータを駆動する。各関節（アクチュエータ）には、ポテンシオメータが取り付けられ、その時のモータの回転角がCPU220に送られる。このアクチュエータに取り付けられたポテンシオメータ、足底に取り付けられたタッチセンサ及び体幹部に取り付けられたジャイロ・センサ等の各センサ240は、現在の関節角度、設置情報、及び姿勢情報等の現在のロボット装置の状態を計測し、センサデータ241としてCPU220へ出力する。CPU220は、ステレオ画像処理装置210からのカラー画像202及び視差画像203と、アクチュエータの全ての関節角度等のセンサデータ241とが入力され、これらデータが後述するソフトウェアにより処理され、様々な動作を自律的に行うことが可能となる。

【0022】

図 4 は、本実施の形態におけるロボット装置を動作させるソフトウェアの構成を示す模式図である。本実施の形態におけるソフトウェアは、オブジェクト単位で構成され、ロボット装置の位置、移動量、周囲の障害物、ランドマーク、ランドマーク地図、行動可能領域等を認識し、ロボット装置が最終的に取るべき行動についての行動列を出力する各種認識処理等を行うものである。なお、ロボット装置の位置を示す座標として、例えば、ランドマーク等の特定の物体等を座標の原点としたワールド基準系のカメラ座標系（以下、絶対座標ともいう。）と、ロボット装置自身を中心（座標の原点）としたロボット中心座標系（以下、相対座標ともいう。）との 2 つの座標を使用する。

【 0 0 2 3 】

オブジェクト同士は、非同期に通信し合うことで、システム全体が動作する。各オブジェクトはメッセージ通信と共有メモリを使用したオブジェクト間通信方法によりデータの受け渡し及びプログラムの起動（I n v o k e）を行っている。図 4 に示すように、本実施の形態におけるロボット装置のソフトウェア 3 0 0 は、ロボット装置の移動量を算出する移動量算出手段（キネマティックオドメトリ（Kinematics Odometry））K I N E 3 1 0、環境内の平面を抽出する平面抽出部（Plane Extractor）P L E X 3 2 0、環境内の障害物を認識する障害物グリッド算出部（Occupancy Grid）O G 3 3 0、人工的なランドマークを含む環境において、自身のセンサ情報及び移動量算出手段から供給される自身の動作情報によって、ロボット装置の自己位置（位置及び姿勢）や、後述のランドマークの位置情報を特定するランドマーク位置検出部（Landmark Sensor）C L S 3 4 0、ロボット中心座標を絶対座標に変換する絶対座標算出部（Localization）L Z 3 5 0 及びロボット装置の取るべき行動を決定する行動決定部（Situating behavior Layer）S B L 3 6 0 から構成され、各オブジェクト単位にて処理がなされる。なお、ランドマーク位置検出部（Landmark Sensor）C L S 3 4 0 は、後述のランドマーク認識部 4 1 0 と同様のものである。

【 0 0 2 4 】

ロボット装置に適用されることにより行動制御装置は、ランドマークの幾何学的な位置関係からロボット装置の行動可能な範囲を求め、この行動可能範囲にし

たがってロボット装置の行動を制御する。ロボット装置を自律的に動作させる詳細な説明、並びにロボット装置の構成及び動作に関する詳細な説明は後述する。

【0025】

ロボット装置1に搭載される行動制御装置の機能的な構成図を図5に示す。この行動制御装置はCPU220内にて構成される。行動制御装置は、機能的に、ランドマークを認識するランドマーク認識部410と、ランドマーク地図を作成するランドマーク地図作成部420と、行動可能領域地図を作成する行動可能領域認識部430と、ロボット装置の自律的な行動を制御する行動制御部440とを備えている。

【0026】

この行動制御装置を適用することにより、ロボット装置1は、先ず、ランドマーク認識部410によって、ランドマークを認識する。ランドマークは図6に示すように、例えば紫部分1001、黄部分1002、又はピンク部分1003等を用いて、同心円上に2色に塗り分けた色の組み合わせによって構成されている。ランドマーク1004aは、内周円を黄部分1002、外周を紫部分1001としている。ランドマーク1004bは、内周円を紫部分1001、外周を黄部分1002としている。ランドマーク1004cは、内周円をピンク部分1003、外周を紫1001としている。ランドマーク1004dは、内周円を黄部分1002、外周をピンク部分1003としている。よって、これら各ランドマークは、2色の組み合わせによって一意に識別可能とされる。

【0027】

なお、ランドマークは、三角、四角、丸の3つの形状の幾何学パターンに赤、青、黄、及び緑の4つの色を使用し、これらの形状及び色を組み合わせることにより、一意に特定可能(unique)な複数種のランドマークを得ることができる。四角形、円形、三角形の幾何学パターンを配置し、各パターンの位置関係を固定して配置して、各パターンの色を4色、組み合わせることによって、例えば合計24種類のランドマークを作成できる。このように、複数の幾何学パターンの位置関係及び配色により、異なるランドマークを形成することができる。

【0028】

ランドマーク認識部 410 は、ランドマークを一意に認識し、ランドマークの位置情報 $rPo(x, y, z)$ を得る。環境内のランドマークを可能な限り発見するために、ロボット装置 1 は、発見した全てのランドマークを訪問して歩いていく。先ず、環境内のある地点からスタートし、ランダムに歩き回り、そこで周りを 360 度見渡す。そこで発見したランドマークを訪問待ち行列とする。次に、訪問待ち行列から一つを選んで、そのランドマークまで歩いていき、ランドマークに到達したら訪問待ち行列からそのランドマークを削除し、ランドマーク付近で周りを全て見渡し、新しいランドマークを発見する。新しく発見されたランドマークは、訪問待ち行列に追加する。これを繰り返して、訪問待ち行列が空になるまでランドマークを訪問して歩く。他のどのランドマークからも観測不可能なランドマークがない場合は、このような戦略で環境内の全てのランドマークを発見することができる。

【0029】

本実施の形態においては、ロボット装置は、形状及び／又は色等により異なる複数の人工的なランドマークが存在する一意に特定可能な環境内のランドマークを前述したような手法で訪問しながらランドマーク認識部 410 にて得た位置情報 $rPo(x, y, z)$ をランドマーク地図作成部 420 に送る。

【0030】

ランドマーク地図作成部 420 は、ランドマーク認識部 410 が全てのランドマークを認識して送ってきた全てのランドマーク位置情報 $rPo(x, y, z)$ を統合し、それらのランドマークの幾何学的な位置関係を統合したランドマーク地図を作成する。詳細には、ランドマーク認識部 410 によって認識されたランドマークの位置情報 $rPo(x, y, z)$ と、ロボット自身のオドメトリ情報を統合し、ランドマークの幾何学的な配置を推定し、これをランドマーク地図とする。そして、ランドマーク地図情報 $rPo \times N$ を行動可能領域認識部 430 に送る。

【0031】

行動可能領域認識部 430 は、ランドマーク地図情報 $rPo \times N$ を用いて、ロボットが行動可能な範囲である行動可能領域地図を作成する。行動可能領域地図は、グリッドセル又は多角形を指定する情報からなる。この行動可能領域地図は、行

動制御部 4 4 0 に送られる。

【 0 0 3 2 】

行動制御部 4 4 0 は、行動可能領域認識部 4 3 0 から送られた行動可能領域地図を用いて、ロボット装置 1 が行動可能領域の外に出ない、もしくは中に入らないように自律的な行動を制御する。

【 0 0 3 3 】

以下には、新たに図 7 も参照して前記各部よりなる行動制御装置の詳細な動作について説明する。図 7 は前記各部 4 1 0, 4 2 0, 4 3 0, 4 4 0 よりなる行動制御装置を搭載したロボット装置 1 が行動可能領域内を自律的に行動するまでの模様を段階的に示す。

【 0 0 3 4 】

上述したように、図 3 に示す CCD カメラ 2 0 0 L, 2 0 0 R によって取り込まれた映像は、ステレオ画像処理部 2 1 0 に入力され、左右画像 2 0 1 R, 2 0 1 L の視差情報（距離情報）からカラー画像（Y U V）2 0 2 及び視差画像（Y D R）2 0 3 が算出されて CPU 2 2 0 に入力される。また、ロボット装置 1 に複数個設けられた各センサからのセンサデータ 2 4 0 も入力される。これらの視差情報及び視差画像からなる画像データ 3 0 1 と、センサデータ 3 0 2 とが移動量算出手段 K I N E に入力される。

【 0 0 3 5 】

移動量算出手段 K I N E は、画像データ 3 0 1 及びセンサデータ 3 0 2 からなる入力データに基づいてロボット中心座標系の移動量（オドメトリ）を算出する。また、ランドマーク認識部 4 1 0 は、CCD カメラ 2 0 0 L, 2 0 0 R によって観測されたランドマークのカラー画像（Y U V）2 0 2 及び視差画像（Y D R）2 0 3 からランドマークを認識する。つまり、ランドマーク認識部 4 1 0 は、前記画像により、色を認識し、その組み合わせによってランドマークを特定する。次に、前記画像におけるランドマークの大きさによって、ロボット装置からランドマークまでの距離の推定を行い、ロボットの関節各情報と統合することによってランドマーク位置を推定し、ランドマーク位置情報を出力する。このようにして、ロボット装置 1 は、ランドマーク認識部 4 1 0 によりランドマーク 1 0 0

4 を認識する毎にランドマークの位置情報 (Landmark Information) 生成し (図 7 (A))、ランドマーク地図作成部 4 2 0 に送る。また、ロボット装置は、自身の姿勢方向を検出し、移動量と共に姿勢方向を示す情報をランドマーク地図作成部 4 2 0 に供給する。

【0 0 3 6】

ランドマーク地図作成部 4 2 0 は、ランドマーク位置情報及びロボット装置の移動量及び姿勢方向を示す情報 (ロボット自身のオドメトリ情報) を統合し、ランドマークの幾何学的な配置を推定し、ランドマーク地図 (Landmark Map) を作成する (図 7 (B))。

【0 0 3 7】

そして、ロボット装置 1 は、行動可能領域認識部 4 3 0 により、ランドマーク地図情報を用いて、ロボットが行動可能な範囲である行動可能領域地図 (Mobility Map) を作成する (図 7 (C))。この行動可能領域地図内から外にでないようにロボット装置 1 は行動制御部 4 4 0 の制御により自律的に行動する。

【0 0 3 8】

ところで、行動可能領域認識部 4 3 0 は、ランドマーク地図作成部 4 2 0 により作成されたランドマーク地図を用いて行動領域を求める際に、例えば凸包、領域法、ポテンシャル場という 3 つのアルゴリズムのいずれかを用いる。

【0 0 3 9】

このうち、凸包の代表的なアルゴリズムである、凸装アルゴリズム (package wrapping algorithm) の流れを図 8 を参照して以下に説明する。始めに、ステップ S 1 として、全てのランドマークの二次元座標を $P_n = (x, y)$ ($n=0, 1, 2, \dots, N$) とする (図 8 の (1))。次にステップ S 2 として、紙面縦方向で底辺からの y_n が最小の点 p_n を A とし、A から水平に直線 $A0$ を引く (図 8 の (2))。次にステップ S 3 として、点 A から A を除く全ての P_n に対して直線 AP_n を引き、直線 AP_n と $A0$ のなす角が最小の点を B とする (図 8 の (2))。次にステップ S 4 として点 B から A, B を除く全ての P_n に対して直線 BP_n を引き、直線 BP_n と AB のなす角が最小の点を C とする (図 8 の (3))。そして、点 A に戻ってくるまでステップ S 4 を繰り返し、行動可能領域地図を求める (図 8 の (4))。

【0040】

図9には、凸包によって作成された行動可能領域地図の具体例を示す。ランドマークが2個、3個、4個、5個であり、多角形の頂点をなす場合には、図9の(A)、(B)、(C)、(D)に示すように、各ランドマークを包むように行動可能領域地図を作成する。また、図9の(E)や(F)に示すように、ランドマークが多角形の内部にも包まれるように行動可能領域地図を作成することもある。また、全てのランドマークを外周の頂点として包みこむように作成してもよい。

【0041】

領域法による行動可能領域地図について図10を用いて説明する。ランドマークから半径 r [m] の領域を行動範囲とする方法である。ランドマークが1個の場合には、図10の(A)のように1個のランドマークを中心とした半径 r の領域内だけを行動可能領域とする。ランドマークが図10の(B)に示すように4個である場合には、各ランドマークの半径 r [m] の各領域を重ねた行動可能領域となる。ランドマークの配置の仕方によっては図10の(C)に示すように、各領域を重ねた行動可能領域が略S字のようになる。

【0042】

ポテンシャル場による行動可能領域地図について図11を用いて説明する。各ランドマークから半径 r [m] の領域を行動可能領域とする(図11の(A))。そして、ランドマークからの半径距離にしたがって増加するコストを定義する(図11の(B))。この結果、例えば図11の(C)に示すように外周に行くほどコストが高くなるような行動可能領域が設定できる。

【0043】

この他、行動領域の設定法としては、ロボット装置1の前方左右に位置する少なくとも二つのランドマークの結ぶ線よりもロボット側に S [m] という設定の方法をとってもよい。

【0044】

この行動領域認識部430は、行動領域地図作成時の行動領域設定法を、例えばランドマークの個数によって切り換える。もちろん、マニュアルでの設定の選

択により切り換えることもできる。例えば、ランドマークの個数 N が1個であるときには、図12の(A)に示すように領域法で選択し、 N が2個であるときには、図12の(B)に示すように二つのランドマークを結ぶ線よりもロボット側に $S[m]$ であり、二つのランドマークの幅という設定である。さらに、 N が2個以上の場合には、前記凸法を選択する。

【0045】

行動制御部440は、行動可能領域認識部430にて作成された行動可能領域地図に基づいてロボット装置1が例えば行動可能領域の外に出ないようにロボット装置1の自律的な行動を制御する。具体的に、行動制御部440は、障害物地図を作成し、その障害物地図に前記行動可能領域を作成するのに用いたランドマークを仮想障害物(Virtual Obstacle)として加え、その障害物地図内において、行動可能領域と判定した領域のみを移動するようにロボット装置の行動を制御する。

【0046】

障害物地図は、本件出願人による特願2002-073388号公報に開示されている障害物認識技術に基づいて作成される。以下に詳細を説明する。障害物認識装置は、図4に示した平面抽出部(Plane Extractor)PLEX320を実行したCPU220内にて構成される。図13に機能ブロック図を示すように、障害物認識装置221は、視差画像から距離画像を生成する距離画像生成部222と、距離画像から平面検出をして平面パラメータを算出する平面検出部223と、同時変換行列を座標変換する座標変換部224と、前記座標変換結果と前記平面パラメータから床面を検出する床面検出部225と、床面の平面パラメータから障害物を認識する障害物認識部226とを備えてなる。

【0047】

距離画像生成部222は、ロボット装置1に設けた二つのCCDカメラから得られた画像データに基づいて算出された視差画像と、ロボット装置1に設けた複数のセンサ手段から得られたセンサデータ出力とに基づいて二つのCCDカメラが配設された位置における前記視差画像に対応する同時変換行列を用いて距離画像を生成する。平面検出部223は、距離画像生成部222により生成された距

離画像に基づいて平面パラメータを検出する。座標変換部 224 は、前記同時変換行列をロボット装置 1 の接地面での座標に変換する。床面検出部 225 は、平面検出部 223 からの平面パラメータと座標変換部 224 からの座標変換結果を用いて床面を検出し、その平面パラメータを障害物認識部 226 に供給する。障害物認識部 226 は、床面検出部 225 が検出した床面の平面パラメータを用いて床面に載っている点を選択し、この点に基づいて障害物を認識する。

【0048】

上述した如く、CCDカメラ 200L, 200Rによって取り込まれた映像は、ステレオ画像処理装置 210に入力され、図 14に具体的に示す左右画像 201R, 201Lの視差情報（距離情報）からカラー画像（YUV）202及び視差画像（YDR）203が算出されてCPU 220に入力される。また、ロボット装置 1 に複数個設けられた各センサからのセンサデータ 240が入力される。図 4 に示したように、これらの視差情報及び視差画像からなる画像データ 301 と、ロボット装置の関節角等のデータであるセンサデータ 302 とがキネマティックオドメトリ KINE 310 に入力される。

【0049】

キネマティックオドメトリ KINE 310 は、画像データ 301 及びセンサデータ 302 からなる入力データに基づいて画像データ 301 の画像が撮像された時間におけるセンサデータ 302 の関節角を割り出し、この関節角のデータを使用してロボット装置 1 が中心に固定されたロボット中心座標系を頭部ユニットに設けられたカメラの座標系へ変換する。この場合、本実施の形態においては、ロボット中心座標系からカメラ座標系の同時変換行列等を導出し、この同時変換行列 311 とこれに対応する視差画像 312 を障害物認識装置 221（平面抽出部 PLEX 320 の実行結果）へ出力する。

【0050】

障害物認識装置 221（平面抽出部 PLEX 320）は、同時変換行列 311 とこれに対応する視差画像 312 を受け取り、以下の図 15 に示す処理手順にしたがって障害物を認識する。

【0051】

先ず、障害物認識装置 221 (平面抽出部 PLEX 320) の座標変換部 224 は同時変換行列 311 を、また距離画像生成部 222 は同時変換行列 311 に対応する視差画像 312 を受け取る (ステップ S61)。そして、距離画像生成部 222 は、視差画像 312 からレンズ歪みとステレオの取り付け誤差を吸収したキャリブレーションパラメータを利用して、画素毎にカメラ座標から見た 3 次元の位置データ (X,Y,Z) を距離画像として生成する (ステップ S62)。このとき各 3 次元データは、視差画像又は距離画像等の入力画像における信頼度等から得られる信頼度パラメータを個別に有し、この信頼度パラメータにより選別されて入力される。

【0052】

そして、平面検出部 223 は、選別された 3 次元データ群からランダムにデータをサンプリングし、ハフ変換により平面を推定する。即ち、法線ベクトルの向きを (θ, ϕ) 、原点からの距離を d としたときの平面パラメータ (θ, ϕ, d) を算出し、平面パラメータを投票空間 $(\theta, \Psi, d) = (\theta, \phi \cos \theta, d)$ に直接投票して平面を推定する。これにより、平面検出部 223 は、画像中の支配的な平面のパラメータを検出する (ステップ S63)。この平面のパラメータは図 16 に示すパラメータ空間 (θ, ϕ) (投票空間) のヒストグラムにより検出される。パラメータの投票が小さいと障害物、大きいと平面上のものと見なすことができる。

【0053】

投票の際は、3 次元データに付随する信頼度パラメータ又は平面パラメータの算出方法等により、1 票の投票に対して異なる重み付けをして、投票値を異ならせると共に、投票値の分布から得られるピーク値を推定するために、ピーク値近傍における重み付き平均処理等を行うことにより、信頼度の高いデータを推定することができる。そして、この平面パラメータを初期パラメータとしてイタレーションを行い、平面を決定することで、更に信頼度が高い平面を決定することができる。また、最終的に決定される平面を算出した 3 次元データに付随する信頼度パラメータ及びイタレーションにおける残差誤差等を使用して平面の信頼度を算出し、この平面信頼度を平面のデータと共に出力することにより、後段の処理

が行い易くなる。このように、平面抽出は、投票、即ちヒストグラムに基づく確率密度関数の推定により 3 次元データから、その 3 次元データに含まれる支配的な平面のパラメータを決定する確率論的方法で行われる。こうして得られた平面のパラメータ使用すれば、元々画像から得られた距離の測定点が平面上からどれくらいの距離であるかが分かる。

【0054】

次に、座標変換部 224 は、カメラ座標系の同時変換行列 3 1 1 から図 17 に示すようにロボットの足底接地面への変換を求める（ステップ S 6 4）。これにより、カメラ座標系で表現される接地平面のパラメータの算出が行われる。そして、床面検出部 225 は、平面検出部 223 による前記ステップ S 6 3 での画像による平面の検出結果と、座標変換部 224 による前記ステップ S 6 4 での足底接地平面の照合から、画像中の平面パラメータから床面に相当するものを選択する（ステップ S 6 5）。

【0055】

次に、障害物認識部 226 は、床面検出部 225 が前記ステップ S 6 5 にて選択した平面パラメータを使って、元の距離画像から平面上に載っている点を選択する（ステップ S 6 6）。これは、平面からの距離 d がしきい値 D_{th} より小さい事を使って判断する。

【0056】

図 18 には、しきい値 D_{th} を 1 cm とした範囲で選択された測定点（×印）を示す。この図 18 にて、黒く抜かれている点が平面と判断されなかった点である。

【0057】

したがって、障害物認識部 226 は、前記ステップ S 6 6 にて平面上（床面）上に載っている点以外の点（床面上に無い点）を障害物としてステップ S 6 7 にて認識することができる。これらの判断結果は床平面上の点（ x 、 y ）とその高さ z で表現される。例えば、高さ $z < 0$ は、平面より凹んでいる点を示す。

【0058】

これにより、高さがロボットより高い障害物点はそれをくぐることができるの

で障害物ではないという判断も可能とすることができる。また、ロボットビュー（図19の（a））から得た床面抽出画像（図19の（b））の高さ z を0（ $z=0$ ）となるように座標変換すれば、図19の（c）に示すように、平面上の2次元の位置で床か障害物かを表現することができる。

【0059】

このように、障害物認識装置は、多数の測定点を使って平面の検出を行うために安定した平面を抽出できる。また、画像から得られる平面候補をロボットの姿勢から得られる床面パラメータと照合することで正しい平面を選択できる。また、障害物を認識するのではなく、実質的には床面を認識するので障害物の形状や大きさに因らない認識が可能である。また、床面からの距離で障害物を表現するので細かい段差や凹みまで検出することができる。またロボットの大きさを考慮して跨いだり、くぐったりする判断も容易である。さらに、2次元床面上の障害物表現となるので経路計画などに既存の移動ロボットで用いられる手法が適用可能であるし、3次元の表現より高速に演算できる。

【0060】

次に、前述した障害物認識装置により障害物地図を作成し、その障害物地図に、前記行動可能領域を仮想的な障害物として加え、その障害物地図を基に行動制御を行う具体例について説明する。例えば、図20に示すような環境、すなわち障害物1100に囲まれた中にランドマーク1004を三角形を形成するように配置した環境にてロボット装置1の行動を制御する具体例を挙げる。

【0061】

まず、行動制御装置は、障害物認識装置により、ロボット周辺のある領域の移動可能な領域及び移動不可能な障害物領域の情報を保持した図21の障害物地図を作成する。図21中の障害物領域1121は図20における障害物1100に対応している。また、自由領域1120は、ロボット装置1が歩行可能な領域を示す。未観測領域1122は障害物1100に阻まれた領域で観測できない領域である。

【0062】

ロボット装置1は、ランドマークの配置により作成された行動領域内1110

を除けば、自由領域のみを移動するように、行動制御を行うことにより障害物に干渉しない自律行動が可能となる。

【0063】

次に、行動制御装置は、前記障害物地図に、行動可能領域認識部 430 が生成した行動可能領域 1110 を仮想的な障害物として加える。

【0064】

そして、行動制御装置は、前記障害物情報に仮想障害物を加えた障害物地図内において、行動可能領域と判定された領域を移動するように行動計画を立て、行動制御を行う。

【0065】

ロボット装置 1 が行動可能領域内にいる場合は、行動可能領域内を移動し、ロボット装置 1 が行動可能領域の外にいる場合には、行動可能領域内に復帰するように行動を制御する。

【0066】

なお、行動制御装置は、前記障害物地図に、行動可能領域認識部 430 が行動可能領域 1110 を生成するのに用いたランドマークを仮想的な障害物として加え、当該障害物地図内において、自由領域又は行動可能領域と判定された領域のみを移動するようにロボット装置の行動を制御してもよい。

【0067】

行動領域設定後における行動制御は、ユーザの音声による命令をトリガーとして行われる。例えば、図 12 の (A) に示したようにランドマーク 1 個を中心とした半径 $r[m]$ の円を領域として設定したような場合には「この近くにいなさい」という命令にしたがってロボット装置 1 は行動を制御する。また、凸包等により行動可能領域が設定された場合には「そこで遊んでいなさい」、「出てはいけません」等の命令にしたがって行動を制御する。また、行動不可能領域を設定し、「ここに入ってはいけません」という命令にしたがって行動を制御するようにしてもよい。

【0068】

次に、上述した図 4 に示すロボット装置 1 のソフトウェアについて詳細に説明

する。図 22 は、図 4 に示すソフトウェア 300 の動作を示すフローチャートである。

【0069】

図 4 に示すソフトウェア 300 のキネマティックオドメトリ KINE 310 には、上述したように、画像データ 301 及びセンサデータ 302 が入力される。この画像データ 301 は、カラー画像及びステレオカメラによる視差画像である。また、センサデータは、ロボット装置の関節角等のデータである。キネマティックオドメトリ KINE 310 は、これらの入力データ 301, 302 を受け取り、メモリに格納されていたそれまでの画像及びセンサデータを更新する（ステップ S101）。

【0070】

次に、これら画像データ 301 とセンサデータ 302 との時間的な対応を取る（ステップ S102-1）。即ち、画像データ 301 の画像が撮像された時間におけるセンサデータ 302 の関節角を割り出す。次いで、この関節角のデータを使用してロボット装置 1 が中心に固定されたロボット中心座標系を頭部ユニットに設けられたカメラの座標系へ変換する（ステップ S102-2）。この場合、本実施の形態においては、ロボット中心座標系からカメラ座標系の同時変換行列等を導出し、この同時変換行列 311 とこれに対応する画像データとを画像認識を行うオブジェクトへ送信する。即ち、同時変換行列 311 及びこれに対応する視差画像 312 を平面抽出部 PLEX 320 へ出力し、同時変換行列 311 及びカラー画像 313 をランドマークセンサ部 CLS 340 へ出力する。

【0071】

また、センサデータ 302 から得られる歩行パラメータと、足底センサを使用した歩数のカウント数とからロボット装置 1 の移動量を算出し、ロボット装置 1 のロボット装置中心座標系における移動量を算出する。以下、ロボット装置中心座標系の移動量をオドメトリともいう。このオドメトリ 314 を障害物グリッド算出部 OG 330 及び絶対座標算出部 LZ 350 へ出力する。

【0072】

平面抽出部 PLEX 320 は、キネマティックオドメトリ KINE 310 にて

算出された同時変換行列 311 と、これに対応するステレオカメラから得られる視差画像 312 とが入力されると、それまでメモリに格納されていたこれらのデータを更新する（ステップ S103）。そして、ステレオカメラのキャリブレーションパラメータ等を使用して視差画像 312 から 3 次元の位置データ（レンジデータ）を算出する（ステップ S104-1）。次いで、このレンジデータからハフ変換等を使用して、例えば壁及びテーブル等の平面を除く平面を平面として抽出する。また、座標変換行列 311 からロボット装置 1 の足底が接地している平面との対応を取り、床面を選択し、床面上にない点、例えば所定の閾値よりも高い位置にあるもの等を障害物として床面からの距離を算出し、この障害物情報（obstacle）321 を障害物グリッド算出部 330 に出力する（ステップ S104-2）。

【0073】

障害物グリッド算出部 OG330 では、キネマティックオドメトリ KINE310 にて算出されたオドメトリ 314 と、平面抽出部 PLEX320 にて算出された障害物の観測情報（障害物情報）321 とが入力されると、メモリに格納されていたそれまでのデータを更新する（ステップ S105）。そして、床面上に障害物があるか否かの確率を保持する障害物グリッドを確率的手法により更新する（ステップ S106）。

【0074】

この障害物グリッド算出部 OG330 は、ロボット装置 1 を中心とした例えば周囲 4 m の障害物情報、即ち、上述した環境地図と、ロボット装置 1 の向く方角を示す姿勢情報とを保持しており、上述の方法により、環境地図を更新し、この更新した認識結果（障害物情報 331）を出力することにより、上位レイヤ、即ち、本実施の形態においては、経路計画決定部 SBL360 にて障害物を回避する計画を作成することができる。

【0075】

ランドマークセンサ CLS340 は、キネマティックオドメトリ KINE310 から同時変換行列 311 及びカラー画像 313 が入力されると、予めメモリ内に格納されていたこれらのデータを更新する（ステップ S107）。そして、カ

ラー画像 313 の画像処理を行って、予め認識しているカラーランドマークを検出する。このカラーランドマークのカラー画像 313 上での位置及び大きさをカメラ座標系での位置に変換する。更に、同時変換行列 311 を使用し、カラーランドマークのカメラ座標系での位置をロボット中心位置座標系における位置に変換し、ロボット中心位置座標系におけるカラーランドマーク位置の情報（カラーランドマーク相対位置情報）341 を絶対座標算出部 LZ350 に出力する（ステップ S108）。

【0076】

絶対座標算出部 LZ350 は、キネマティックオドメトリ KINE310 からのオドメトリ 314 と、ランドマークセンサ部 CLS340 からのカラーランドマーク相対位置情報 341 とが入力されると、予めメモリ内に格納されていたこれらのデータが更新される（ステップ S109）。そして、絶対座標算出部 LZ350 が予め認識しているカラーランドマークの絶対座標（ワールド座標系での位置）、カラーランドマーク相対位置情報 341、及びオドメトリ 314 を使用し、確率的手法によりロボット装置の絶対座標（ワールド座標系での位置）を算出する。そして、この絶対座標位置 351 を行動決定部 SBL360 に出力する。

【0077】

行動決定部 SBL360 は、障害物グリッド算出部 OG330 から障害物グリッド情報 331 が入力され、絶対座標算出部 LZ350 から絶対座標位置 351 が入力されると、予めメモリに格納されていたこれらのデータが更新される（ステップ S111）。そして、行動決定部 SBL360 障害物グリッド算出部 OG330 からの障害物情報 331 により、ロボット装置 1 の周囲に存在する障害物に関する認識結果を取得し、絶対座標算出部 LZ350 から現在のロボット装置 1 の絶対座標を取得することにより、絶対座標系又はロボット装置中心のロボット中心座標系で与えられた目標地点に対して障害物に衝突せずに歩行可能な経路を生成し、経路に応じて経路を遂行する動作コマンドを発行する。即ち、入力データから状況に応じてロボット装置 1 が取るべき行動を決定し、その行動列を出力する（ステップ S112）。

【 0 0 7 8 】

また、人間によるナビゲーションの場合には、障害物グリッド算出部 O G 3 3 0 からロボット装置の周囲に存在する障害物に関する認識結果及び絶対座標算出部 L Z 3 5 0 からの現在のロボット装置の位置の絶対座標をユーザに提供し、このユーザからの入力に応じて動作コマンドを発行させる。

【 0 0 7 9 】

図 2 3 は、上述のソフトウェアに入力されるデータの流れを模式的に示す図である。なお、図 2 3 において、図 1 及び図 2 に示す構成と同一構成要素には同一符号を付してその詳細な説明は省略する。

【 0 0 8 0 】

顔検出部 F D T (F a c e D e t e c t o r) 3 7 1 は、画像フレーム中から顔領域を検出するオブジェクトであり、カメラ等の画像入力装置からカラー画像 2 0 2 を受け取り、それを例えば 9 段階のスケール画像に縮小変換する。この全ての画像の中から顔に相当する矩形領域を探索する。重なりあった候補領域を削減して最終的に顔と判断された領域に関する位置、大きさ、及び特徴量等の情報 3 7 2 を出力して、顔識別部 F I (F a c e I d e n t i f y) 3 7 7 へ送る。

【 0 0 8 1 】

顔識別部 F I 3 7 7 は、検出された顔画像を識別するオブジェクトであり、顔の領域を示す矩形領域画像からなる情報 3 7 2 を顔検出部 F D T 3 7 1 から受け取り、この顔画像がメモリに格納されている手持ちの人物辞書のうちでどの人物に相当するかを比較して人物の識別を行う。そして、顔検出部 E D T 3 7 1 から受け取った顔画像の顔画像領域の位置、大きさ情報と共に人物の I D 情報 3 7 8 を D I L 3 7 9 に出力する。

【 0 0 8 2 】

色認識部 M C T (M u l t i C o l o r T r a c k e r) 3 7 3 は、色認識を行うオブジェクトであり、カメラ等の画像入力装置からカラー画像 2 0 2 を受け取り、予め保有している複数のカラー・モデル情報に基づいて色領域を抽出し、連続した領域に分割する。色認識部 M C T 3 7 3 は、分割した各領域の位置、大きさ及び特徴量等の情報 3 7 4 を D I L 3 7 9 に出力する。

【0083】

動き検出部MDT (MotionDetector) 375は、画像の中で動いている部分を検出する部分であり、検出した動き領域の情報376を距離情報付加部DIL 379に出力する。

【0084】

距離情報付加部DIL (DistanceInformationLinker) 379は、入力された2次元の情報に距離情報を付加して3次元の情報を出すオブジェクトであり、顔検出部FI 377からのID情報378、色認識部MCT 373からの分割した各領域の位置、大きさ及び特徴量等の情報374、動き検出部MDT 375からの動き領域の情報376に距離情報を付加して3次元の情報380を短期記憶部STM (ShortTermMemory) 381に出力する。

【0085】

短期記憶部STM 381は、ロボット装置1の外部環境に関する情報を比較的短い時間だけ保持するオブジェクトであり、ArthurDecoder (図示せず) から音声認識結果 (単語、音源方向、確信度) を受け取り、色認識部MCT 373から肌色の領域の位置、大きさと顔領域の位置、大きさを受け取り、顔識別部FI 377から人物のID情報等を受け取る。また、ロボット装置1の機体上の各センサからロボット装置の首の方向 (関節角) を受け取る。そして、これらの認識結果及びセンサ出力を統合的に使って、現在どこにどの人物がいて、しゃべった言葉がどの人物のものであり、その人物とはこれまでにどんな対話を行ったのかという情報を保存する。こうした物体、即ちターゲットに関する物理情報と時間方向でみたイベント (履歴) を出力として、行動決定部 (状況依存行動階層) (SBL) 360等の上位モジュールに渡す。

【0086】

行動決定部SBLは、上述の短期記憶部STM 381からの情報を基にロボット装置1の行動 (状況に依存した行動) を決定するオブジェクトである。複数の行動を同時に評価したり、実行したりすることができる。また、行動を切り替えて機体をスリープ状態にしておき、別の行動を起動することができる。

【0087】

以下、本発明の実施の形態における上述した行動制御を搭載した2足歩行タイプのロボット装置1について詳細に説明する。この人間型のロボット装置1は、住環境その他の日常生活上の様々な場面における人的活動を支援する実用ロボットであり、内部状態（怒り、悲しみ、喜び、楽しみ等）に応じて行動できるほか、人間が行う基本的な動作を表出できるエンターテインメントロボットである。

【0088】

上述したように、図1に示すロボット装置1は、体幹部ユニット2の所定の位置に頭部ユニット3が連結されると共に、左右2つの腕部ユニット4R/Lと、左右2つの脚部ユニット5R/Lが連結されて構成されている。

【0089】

このロボット装置1が具備する関節自由度構成を図24に模式的に示す。頭部ユニット3を支持する首関節は、首関節ヨー軸101と、首関節ピッチ軸102と、首関節ロール軸103という3自由度を有している。

【0090】

また、上肢を構成する各々の腕部ユニット4R/Lは、肩関節ピッチ軸107と、肩関節ロール軸108と、上腕ヨー軸109と、肘関節ピッチ軸110と、前腕ヨー軸111と、手首関節ピッチ軸112と、手首関節ロール軸113と、手部114とで構成される。手部114は、実際には、複数本の指を含む多関節・多自由度構造体である。ただし、手部114の動作は、ロボット装置1の姿勢制御や歩行制御に対する寄与や影響が少ないので、本明細書ではゼロ自由度と仮定する。したがって、各腕部は7自由度を有するとする。

【0091】

また、体幹部ユニット2は、体幹ピッチ軸104と、体幹ロール軸105と、体幹ヨー軸106という3自由度を有する。

【0092】

また、下肢を構成する各々の脚部ユニット5R/Lは、股関節ヨー軸115と、股関節ピッチ軸116と、股関節ロール軸117と、膝関節ピッチ軸118と、足首関節ピッチ軸119と、足首関節ロール軸120と、足部121とで構成

される。本明細書中では、股関節ピッチ軸 116 と股関節ロール軸 117 の交点は、ロボット装置 1 の股関節位置を定義する。人体の足部 121 は、実際には多関節・多自由度の足底を含んだ構造体であるが、ロボット装置 1 の足底は、ゼロ自由度とする。したがって、各脚部は、6 自由度で構成される。

【0093】

以上を総括すれば、ロボット装置 1 全体としては、合計で $3 + 7 \times 2 + 3 + 6 \times 2 = 32$ 自由度を有することになる。ただし、エンターテインメント向けのロボット装置 1 が必ずしも 32 自由度に限定されるわけではない。設計・制作上の制約条件や要求仕様等に応じて、自由度、即ち関節数を適宜増減することができるというまでもない。

【0094】

上述したようなロボット装置 1 がもつ各自由度は、実際にはアクチュエータを用いて実装される。外観上で余分な膨らみを排してヒトの自然体形状に近似させること、2 足歩行という不安定構造体に対して姿勢制御を行うことなどの要請から、アクチュエータは小型且つ軽量であることが好ましい。

【0095】

図 25 には、ロボット装置 1 の制御システム構成を模式的に示している。同図に示すように、ロボット装置 1 は、ヒトの四肢を表現した体幹部ユニット 2、頭部ユニット 3、腕部ユニット 4 R/L、脚部ユニット 5 R/L と、各ユニット間の協調動作を実現するための適応制御を行う制御ユニット 10 とで構成される。

【0096】

ロボット装置 1 全体の動作は、制御ユニット 10 によって統括的に制御される。制御ユニット 10 は、CPU (Central Processing Unit) や、DRAM、フラッシュ ROM 等の主要回路コンポーネント (図示しない) で構成される主制御部 11 と、電源回路やロボット装置 1 の各構成要素とのデータやコマンドの授受を行うインターフェイス (何れも図示しない) などを含んだ周辺回路 12 とで構成される。

【0097】

この制御ユニット 10 の設置場所は、特に限定されない。図 25 では体幹部ユ

ニット 2 に搭載されているが、頭部ユニット 3 に搭載してもよい。あるいは、ロボット装置 1 外に制御ユニット 10 を配備して、ロボット装置 1 の機体とは有線又は無線で交信するようにしてもよい。

【0098】

図 25 に示したロボット装置 1 内の各関節自由度は、それぞれに対応するアクチュエータによって実現される。即ち、頭部ユニット 3 には、首関節ヨー軸 101、首関節ピッチ軸 102、首関節ロール軸 103 の各々を表現する首関節ヨー軸アクチュエータ A₂、首関節ピッチ軸アクチュエータ A₃、首関節ロール軸アクチュエータ A₄ が配設されている。

【0099】

また、頭部ユニット 3 には、外部の状況を撮像するための CCD (Charge Coupled Device) カメラが設けられているほか、前方に位置する物体までの距離を測定するための距離センサ、外部音を集音するためのマイク、音声を出力するためのスピーカ、使用者からの「撫でる」や「叩く」といった物理的な働きかけにより受けた圧力を検出するためのタッチセンサ等が配設されている。

【0100】

また、体幹部ユニット 2 には、体幹ピッチ軸 104、体幹ロール軸 105、体幹ヨー軸 106 の各々を表現する体幹ピッチ軸アクチュエータ A₅、体幹ロール軸アクチュエータ A₆、体幹ヨー軸アクチュエータ A₇ が配設されている。また、体幹部ユニット 2 には、このロボット装置 1 の起動電源となるバッテリーを備えている。このバッテリーは、充放電可能な電池によって構成されている。

【0101】

また、腕部ユニット 4 R/L は、上腕ユニット 41 R/L と、肘関節ユニット 42 R/L と、前腕ユニット 43 R/L に細分化されるが、肩関節ピッチ軸 107、肩関節ロール軸 108、上腕ヨー軸 109、肘関節ピッチ軸 110、前腕ヨー軸 111、手首関節ピッチ軸 112、手首関節ロール軸 113 の各々表現する肩関節ピッチ軸アクチュエータ A₈、肩関節ロール軸アクチュエータ A₉、上腕ヨー軸アクチュエータ A₁₀、肘関節ピッチ軸アクチュエータ A₁₁、肘関節ロール軸アクチュエータ A₁₂、手首関節ピッチ軸アクチュエータ A₁₃、手首関

節ロール軸アクチュエータ A_{14} が配備されている。

【0102】

また、脚部ユニット $5R/L$ は、大腿部ユニット $51R/L$ と、膝ユニット $52R/L$ と、脛部ユニット $53R/L$ に細分化されるが、股関節ヨー軸 115 、股関節ピッチ軸 116 、股関節ロール軸 117 、膝関節ピッチ軸 118 、足首関節ピッチ軸 119 、足首関節ロール軸 120 の各々を表現する股関節ヨー軸アクチュエータ A_{16} 、股関節ピッチ軸アクチュエータ A_{17} 、股関節ロール軸アクチュエータ A_{18} 、膝関節ピッチ軸アクチュエータ A_{19} 、足首関節ピッチ軸アクチュエータ A_{20} 、足首関節ロール軸アクチュエータ A_{21} が配備されている。各関節に用いられるアクチュエータ A_2 、 $A_3 \cdots$ は、より好ましくは、ギア直結型で且つサーボ制御系をワンチップ化してモータ・ユニット内に搭載したタイプの小型 AC サーボ・アクチュエータで構成することができる。

【0103】

体幹部ユニット 2 、頭部ユニット 3 、各腕部ユニット $4R/L$ 、各脚部ユニット $5R/L$ などの各機構ユニット毎に、アクチュエータ駆動制御部の副制御部 20 、 21 、 $22R/L$ 、 $23R/L$ が配備されている。さらに、各脚部ユニット $5R/L$ の足底が着床したか否かを検出する接地確認センサ $30R/L$ を装着するとともに、体幹部ユニット 2 内には、姿勢を計測する姿勢センサ 31 を装備している。

【0104】

接地確認センサ $30R/L$ は、例えば足底に設置された近接センサ又はマイクロ・スイッチなどで構成される。また、姿勢センサ 31 は、例えば、加速度センサとジャイロ・センサの組み合わせによって構成される。

【0105】

接地確認センサ $30R/L$ の出力によって、歩行・走行などの動作期間中において、左右の各脚部が現在立脚又は遊脚何れの状態であるかを判別することができる。また、姿勢センサ 31 の出力により、体幹部分の傾きや姿勢を検出することができる。

【0106】

主制御部 11 は、各センサ 30 R/L, 31 の出力に応答して制御目標をダイナミックに補正することができる。より具体的には、副制御部 20, 21, 22 R/L, 23 R/L の各々に対して適応的な制御を行い、ロボット装置 1 の上肢、体幹、及び下肢が協調して駆動する全身運動パターンを実現できる。

【0107】

ロボット装置 1 の機体上での全身運動は、足部運動、ZMP (Zero Moment Point) 軌道、体幹運動、上肢運動、腰部高さなどを設定するとともに、これらの設定内容にしたがった動作を指示するコマンドを各副制御部 20, 21, 22 R/L, 23 R/L に転送する。そして、各々の副制御部 20, 21, ... 等では、主制御部 11 からの受信コマンドを解釈して、各アクチュエータ A2, A3 ... 等に対して駆動制御信号を出力する。ここでいう「ZMP」とは、歩行中の床反力によるモーメントがゼロとなる床面上の点のことであり、また、「ZMP 軌道」とは、例えばロボット装置 1 の歩行動作期間中に ZMP が動く軌跡を意味する。なお、ZMP の概念並びに ZMP を歩行ロボットの安定度判別規範に適用する点については、Miomir Vukobratovic 著 “LEGGED LOCOMOTION ROBOTS” (加藤一郎外著『歩行ロボットと人工の足』(日刊工業新聞社)) に記載されている。

【0108】

以上のように、ロボット装置 1 は、各々の副制御部 20, 21, ... 等が、主制御部 11 からの受信コマンドを解釈して、各アクチュエータ A2, A3 ... に対して駆動制御信号を出力し、各ユニットの駆動を制御している。これにより、ロボット装置 1 は、目標の姿勢に安定して遷移し、安定した姿勢で歩行できる。

【0109】

また、ロボット装置 1 における制御ユニット 10 では、上述したような姿勢制御のほかに、加速度センサ、タッチセンサ、接地確認センサ等の各種センサ、及び CCD カメラからの画像情報、マイクからの音声情報等を統括して処理している。制御ユニット 10 では、図示しないが加速度センサ、ジャイロ・センサ、タッチセンサ、距離センサ、マイク、スピーカなどの各種センサ、各アクチュエー

タ、CCDカメラ及びバッテリーが各々対応するハブを介して主制御部11と接続されている。

【0110】

主制御部11は、上述の各センサから供給されるセンサデータや画像データ及び音声データを順次取り込み、これらをそれぞれ内部インターフェイスを介してDRAM内の所定位置に順次格納する。また、主制御部11は、バッテリーから供給されるバッテリー残量を表すバッテリー残量データを順次取り込み、これをDRAM内の所定位置に格納する。DRAMに格納された各センサデータ、画像データ、音声データ及びバッテリー残量データは、主制御部11がこのロボット装置1の動作制御を行う際に利用される。

【0111】

主制御部11は、ロボット装置1の電源が投入された初期時、制御プログラムを読み出し、これをDRAMに格納する。また、主制御部11は、上述のように主制御部11よりDRAMに順次格納される各センサデータ、画像データ、音声データ及びバッテリー残量データに基づいて自己及び周囲の状況や、使用者からの指示及び働きかけの有無などを判断する。

【0112】

さらに、主制御部11は、この判断結果及びDRAMに格納した制御プログラムに基づいて自己の状況に応じて行動を決定するとともに、当該決定結果に基づいて必要なアクチュエータを駆動させることによりロボット装置1に、いわゆる「身振り」、「手振り」といった行動をとらせる。

【0113】

このようにしてロボット装置1は、制御プログラムに基づいて自己及び周囲の状況を判断し、使用者からの指示及び働きかけに応じて自律的に行動できる。

【0114】

ところで、このロボット装置1は、内部状態に応じて自律的に行動することができる。そこで、ロボット装置1における制御プログラムのソフトウェア構成例について、図26乃至図31を用いて説明する。なお、この制御プログラムは、上述したように、予めフラッシュROM12に格納されており、ロボット装置1

の電源投入初期時において読み出される。

【0115】

図26において、デバイス・ドライバ・レイヤ40は、制御プログラムの最下位層に位置し、複数のデバイス・ドライバからなるデバイス・ドライバ・セット41から構成されている。この場合、各デバイス・ドライバは、CCDカメラやタイマ等の通常のコンピュータで用いられるハードウェアに直接アクセスすることを許されたオブジェクトであり、対応するハードウェアからの割り込みを受けて処理を行う。

【0116】

また、ロボティック・サーバ・オブジェクト42は、デバイス・ドライバ・レイヤ40の最下位層に位置し、例えば上述の各種センサやアクチュエータ28₁～28_n等のハードウェアにアクセスするためのインターフェイスを提供するソフトウェア群でなるバーチャル・ロボット43と、電源の切換えなどを管理するソフトウェア群でなるパワーマネージャ44と、他の種々のデバイス・ドライバを管理するソフトウェア群でなるデバイス・ドライバ・マネージャ45と、ロボット装置1の機構を管理するソフトウェア群でなるデザインド・ロボット46とから構成されている。

【0117】

マネージャ・オブジェクト47は、オブジェクト・マネージャ48及びサービス・マネージャ49から構成されている。オブジェクト・マネージャ48は、ロボティック・サーバ・オブジェクト42、ミドル・ウェア・レイヤ50、及びアプリケーション・レイヤ51に含まれる各ソフトウェア群の起動や終了を管理するソフトウェア群であり、サービス・マネージャ49は、メモリカードに格納されたコネクションファイルに記述されている各オブジェクト間の接続情報に基づいて各オブジェクトの接続を管理するソフトウェア群である。

【0118】

ミドル・ウェア・レイヤ50は、ロボティック・サーバ・オブジェクト42の上位層に位置し、画像処理や音声処理などのこのロボット装置1の基本的な機能を提供するソフトウェア群から構成されている。また、アプリケーション・レイ

ヤ 5 1 は、ミドル・ウェア・レイヤ 5 0 の上位層に位置し、当該ミドル・ウェア・レイヤ 5 0 を構成する各ソフトウェア群によって処理された処理結果に基づいてロボット装置 1 の行動を決定するためのソフトウェア群から構成されている。

【 0 1 1 9 】

なお、ミドル・ウェア・レイヤ 5 0 及びアプリケーション・レイヤ 5 1 の具体的なソフトウェア構成をそれぞれ図 2 7 に示す。

【 0 1 2 0 】

ミドル・ウェア・レイヤ 5 0 は、図 2 7 に示すように、騒音検出用、温度検出用、明るさ検出用、音階認識用、距離検出用、姿勢検出用、タッチセンサ用、動き検出用及び色認識用の各信号処理モジュール 6 0 ～ 6 8 並びに入力セマンティクスコンバータモジュール 6 9 などをも有する認識系 7 0 と、出力セマンティクスコンバータモジュール 7 8 並びに姿勢管理用、トラッキング用、モーション再生用、歩行用、転倒復帰用、LED 点灯用及び音再生用の各信号処理モジュール 7 1 ～ 7 7 などをも有する出力系 7 9 とから構成されている。

【 0 1 2 1 】

認識系 7 0 の各信号処理モジュール 6 0 ～ 6 8 は、ロボティック・サーバ・オブジェクト 4 2 のバーチャル・ロボット 4 3 により DRAM から読み出される各センサデータや画像データ及び音声データのうちの対応するデータを取り込み、当該データに基づいて所定の処理を施して、処理結果を入力セマンティクスコンバータモジュール 6 9 に与える。ここで、例えば、バーチャル・ロボット 4 3 は、所定の通信規約によって、信号の授受或いは変換をする部分として構成されている。

【 0 1 2 2 】

入力セマンティクスコンバータモジュール 6 9 は、これら各信号処理モジュール 6 0 ～ 6 8 から与えられる処理結果に基づいて、「うるさい」、「暑い」、「明るい」、「ボールを検出した」、「転倒を検出した」、「撫でられた」、「叩かれた」、「ドミソの音階が聞こえた」、「動く物体を検出した」又は「障害物を検出した」などの自己及び周囲の状況や、使用者からの指令及び働きかけを認識し、認識結果をアプリケーション・レイヤ 4 1 に出力する。

【0123】

アプリケーション・レイヤ51は、図28に示すように、行動モデルライブラリ80、行動切換モジュール81、学習モジュール82、感情モデル83及び本能モデル84の5つのモジュールから構成されている。

【0124】

行動モデルライブラリ80には、図29に示すように、「バッテリー残量が少なくなった場合」、「転倒復帰する」、「障害物を回避する場合」、「感情を表現する場合」、「ボールを検出した場合」などの予め選択されたいくつかの条件項目にそれぞれ対応させて、それぞれ独立した行動モデルが設けられている。

【0125】

そして、これら行動モデルは、それぞれ入力セマンティクスコンバータモジュール69から認識結果が与えられたときや、最後の認識結果が与えられてから一定時間が経過したときなどに、必要に応じて後述のように感情モデル83に保持されている対応する情動のパラメータ値や、本能モデル84に保持されている対応する欲求のパラメータ値を参照しながら続く行動をそれぞれ決定し、決定結果を行動切換モジュール81に出力する。

【0126】

なお、この実施の形態の場合、各行動モデルは、次の行動を決定する手法として、図30に示すような1つのノード（状態） $NODE_0 \sim NODE_n$ から他のどのノード $NODE_0 \sim NODE_n$ に遷移するかを各ノード $NODE_0 \sim NODE_n$ に間を接続するアーク $ARC_1 \sim ARC_{n+1}$ に対してそれぞれ設定された遷移確率 $P_1 \sim P_n$ に基づいて確率的に決定する有限確率オートマトンと呼ばれるアルゴリズムを用いる。

【0127】

具体的に、各行動モデルは、それぞれ自己の行動モデルを形成するノード $NODE_0 \sim NODE_n$ にそれぞれ対応させて、これらノード $NODE_0 \sim NODE_n$ 毎に図31に示すような状態遷移表90を有している。

【0128】

この状態遷移表90では、そのノード $NODE_0 \sim NODE_n$ において遷移条

件とする入力イベント（認識結果）が「入力イベント名」の列に優先順に列記され、その遷移条件についてのさらなる条件が「データ名」及び「データ範囲」の列における対応する行に記述されている。

【0 1 2 9】

したがって、図 3 1 の状態遷移表 9 0 で表されるノード NODE 1 0 0 では、「ボールを検出 (BALL)」という認識結果が与えられた場合に、当該認識結果とともに与えられるそのボールの「大きさ (SIZE)」が「0 から 1000」の範囲であることや、「障害物を検出 (OBSTACLE)」という認識結果が与えられた場合に、当該認識結果とともに与えられるその障害物までの「距離 (DISTANCE)」が「0 から 100」の範囲であることが他のノードに遷移するための条件となっている。

【0 1 3 0】

また、このノード NODE 1 0 0 では、認識結果の入力がない場合においても、行動モデルが周期的に参照する感情モデル 8 3 及び本能モデル 8 4 にそれぞれ保持された各情動及び各欲求のパラメータ値のうち、感情モデル 8 3 に保持された「喜び (Joy)」、「驚き (Surprise)」又は「悲しみ (Sadness)」の何れかのパラメータ値が「50 から 100」の範囲であるときには他のノードに遷移することができるようになっている。

【0 1 3 1】

また、状態遷移表 9 0 では、「他のノードへの遷移確率」の欄における「遷移先ノード」の行にそのノード NODE 0 ～ NODE n から遷移できるノード名が列記されているとともに、「入力イベント名」、「データ名」及び「データの範囲」の列に記述された全ての条件が揃ったときに遷移できる他の各ノード NODE 0 ～ NODE n への遷移確率が「他のノードへの遷移確率」の欄内の対応する箇所それぞれに記述され、そのノード NODE 0 ～ NODE n に遷移する際に出力すべき行動が「他のノードへの遷移確率」の欄における「出力行動」の行に記述されている。なお、「他のノードへの遷移確率」の欄における各行の確率の和は 1 0 0 [%] となっている。

【0 1 3 2】

したがって、図 3 1 の状態遷移表 9 0 で表されるノード NODE 1 0 0 では、例えば「ボールを検出 (BAL L)」し、そのボールの「S I Z E (大きさ)」が「0 から 1000」の範囲であるという認識結果が与えられた場合には、「30 [%]」の確率で「ノード NODE 1 2 0 (node 120)」に遷移でき、そのとき「ACTION 1」の行動が出力されることとなる。

【0 1 3 3】

各行動モデルは、それぞれこのような状態遷移表 9 0 として記述されたノード NODE 0 ~ NODE n が幾つも繋がるようにして構成されており、入力セマンティクスコンバータモジュール 6 9 から認識結果が与えられたときなどに、対応するノード NODE 0 ~ NODE n の状態遷移表を利用して確率的に次の行動を決定し、決定結果を行動切換モジュール 8 1 に出力するようになされている。

【0 1 3 4】

図 2 9 に示す行動切換モジュール 8 1 は、行動モデルライブラリ 8 0 の各行動モデルからそれぞれ出力される行動のうち、予め定められた優先順位の高い行動モデルから出力された行動を選択し、当該行動を実行すべき旨のコマンド（以下、行動コマンドという。）をミドル・ウェア・レイヤ 5 0 の出力セマンティクスコンバータモジュール 7 8 に送出する。なお、この実施の形態においては、図 3 0 において下側に表記された行動モデルほど優先順位が高く設定されている。

【0 1 3 5】

また、行動切換モジュール 8 1 は、行動完了後に出力セマンティクスコンバータモジュール 7 8 から与えられる行動完了情報に基づいて、その行動が完了したことを学習モジュール 8 2、感情モデル 8 3 及び本能モデル 8 4 に通知する。

【0 1 3 6】

一方、学習モジュール 8 2 は、入力セマンティクスコンバータモジュール 6 9 から与えられる認識結果のうち、「叩かれた」や「撫でられた」など、使用者からの働きかけとして受けた教示の認識結果を入力する。

【0 1 3 7】

そして、学習モジュール 8 2 は、この認識結果及び行動切換えモジュール 7 1 からの通知に基づいて、「叩かれた (叱られた)」ときにはその行動の発現確率

を低下させ、「撫でられた（誉められた）」ときにはその行動の発現確率を上昇させるように、行動モデルライブラリ 70 における対応する行動モデルの対応する遷移確率を変更する。

【0138】

他方、感情モデル 83 は、「喜び (Joy)」、「悲しみ (Sadness)」、「怒り (Anger)」、「驚き (Surprise)」、「嫌悪 (Disgust)」及び「恐れ (Fear)」の合計 6 つの情動について、各情動毎にその情動の強さを表すパラメータを保持している。そして、感情モデル 83 は、これら各情動のパラメータ値を、それぞれ入力セマンティクスコンバータモジュール 69 から与えられる「叩かれた」及び「撫でられた」などの特定の認識結果や、経過時間及び行動切換モジュール 81 からの通知などに基づいて周期的に更新する。

【0139】

具体的には、感情モデル 83 は、入力セマンティクスコンバータモジュール 69 から与えられる認識結果と、そのときのロボット装置 1 の行動と、前回更新してから経過時間となどに基づいて所定の演算式により算出されるそのときのその情動の変動量を $\Delta E[t]$ 、現在のその情動のパラメータ値を $E[t]$ 、その情動の感度を表す係数を k_e として、下記数式 (11) によって次の周期におけるその情動のパラメータ値 $E[t+1]$ を算出し、これを現在のその情動のパラメータ値 $E[t]$ と置き換えるようにしてその情動のパラメータ値を更新する。また、感情モデル 83 は、これと同様にして全ての情動のパラメータ値により更新する。

$$E[t+1] = E[t] + k_e \times \Delta E$$

【0140】

なお、各認識結果や出力セマンティクスコンバータモジュール 78 からの通知が各情動のパラメータ値の変動量 $\Delta E[t]$ にどの程度の影響を与えるかは予め決められており、例えば「叩かれた」といった認識結果は「怒り」の情動のパラメータ値の変動量 $\Delta E[t]$ に大きな影響を与え、「撫でられた」といった認識結果は「喜び」の情動のパラメータ値の変動量 $\Delta E[t]$ に大きな影響を与えるようになっている。

【0141】

ここで、出力セマンティクスコンバータモジュール78からの通知とは、いわゆる行動のフィードバック情報（行動完了情報）であり、行動の出現結果の情報であり、感情モデル83は、このような情報によっても感情を変化させる。これは、例えば、「叫ぶ」といった行動により怒りの感情レベルが下がるといったようなことである。なお、出力セマンティクスコンバータモジュール78からの通知は、上述した学習モジュール82にも入力されており、学習モジュール82は、その通知に基づいて行動モデルの対応する遷移確率を変更する。

【0142】

なお、行動結果のフィードバックは、行動切換モジュール81の出力（感情が付加された行動）によりなされるものであってもよい。

【0143】

一方、本能モデル84は、「運動欲 (exercise)」、「愛情欲 (affection)」、「食欲 (appetite)」及び「好奇心 (curiosity)」の互いに独立した4つの欲求について、これら欲求毎にその欲求の強さを表すパラメータを保持している。そして、本能モデル84は、これらの欲求のパラメータ値を、それぞれ入力セマンティクスコンバータモジュール69から与えられる認識結果や、経過時間及び行動切換モジュール81からの通知などに基づいて周期的に更新する。

【0144】

具体的には、本能モデル84は、「運動欲」、「愛情欲」及び「好奇心」については、認識結果、経過時間及び出力セマンティクスコンバータモジュール78からの通知などに基づいて所定の演算式により算出されるそのときのその欲求の変動量を $\Delta I[k]$ 、現在のその欲求のパラメータ値を $I[k]$ 、その欲求の感度を表す係数 k_i として、所定周期で下記数式(12)を用いて次の周期におけるその欲求のパラメータ値 $I[k+1]$ を算出し、この演算結果を現在のその欲求のパラメータ値 $I[k]$ と置き換えるようにしてその欲求のパラメータ値を更新する。また、本能モデル84は、これと同様にして「食欲」を除く各欲求のパラメータ値を更新する。

$$I[k+1] = I[k] + k_i \times \Delta I[k]$$

【0 1 4 5】

なお、認識結果及び出力セマンティクスコンバータモジュール 7 8 からの通知などが各欲求のパラメータ値の変動量 $\Delta I [k]$ にどの程度の影響を与えるかは予め決められており、例えば出力セマンティクスコンバータモジュール 7 8 からの通知は、「疲れ」のパラメータ値の変動量 $\Delta I [k]$ に大きな影響を与えるようになっている。

【0 1 4 6】

なお、この具体例においては、各情動及び各欲求（本能）のパラメータ値がそれぞれ 0 から 1 0 0 までの範囲で変動するように規制されており、また係数 k_e 、 k_i の値も各情動及び各欲求毎に個別に設定されている。

【0 1 4 7】

一方、ミドル・ウェア・レイヤ 5 0 の出力セマンティクスコンバータモジュール 7 8 は、図 2 7 に示すように、上述のようにしてアプリケーション・レイヤ 5 1 の行動切換モジュール 8 1 から与えられる「前進」、「喜ぶ」、「鳴く」又は「トラッキング（ボールを追いかける）」といった抽象的な行動コマンドを出力系 7 9 の対応する信号処理モジュール 7 1 ～ 7 7 に与える。

【0 1 4 8】

そしてこれら信号処理モジュール 7 1 ～ 7 7 は、行動コマンドが与えられると当該行動コマンドに基づいて、その行動をするために対応するアクチュエータに与えるべきサーボ指令値や、スピーカから出力する音の音声データ及び又は L E D に与える駆動データを生成し、これらのデータをロボティック・サーバ・オブジェクト 4 2 のバーチャル・ロボット 4 3 及び信号処理回路を順次介して対応するアクチュエータ又はスピーカ又は L E D に順次送出する。

【0 1 4 9】

このようにしてロボット装置 1 は、上述した制御プログラムに基づいて、自己（内部）及び周囲（外部）の状況や、使用者からの指示及び働きかけに応じた自律的な行動ができる。

【0 1 5 0】

このような制御プログラムは、ロボット装置が読取可能な形式で記録された記

録媒体を介して提供される。制御プログラムを記録する記録媒体としては、磁気読取方式の記録媒体（例えば、磁気テープ、フレキシブルディスク、磁気カード）、光学読取方式の記録媒体（例えば、CD-ROM、MO、CD-R、DVD）等が考えられる。記録媒体には、半導体メモリ（いわゆるメモリカード（矩形型、正方形型など形状は問わない。）、ICカード）等の記憶媒体も含まれる。また、制御プログラムは、いわゆるインターネット等を介して提供されてもよい。

【0151】

これらの制御プログラムは、専用の読込ドライバ装置、又はパーソナルコンピュータ等を介して再生され、有線又は無線接続によってロボット装置1に伝送されて読み込まれる。また、ロボット装置1は、半導体メモリ、又はICカード等の小型化された記憶媒体のドライブ装置を備える場合、これら記憶媒体から制御プログラムを直接読み込むこともできる。

【0152】

以上説明したように、本実施の形態のロボット装置にあって、行動制御装置は、ランドマークの幾何学的な位置関係からロボット装置の行動可能な範囲を求め、この行動可能範囲にしたがってロボット装置の行動を制御する。

【0153】

【発明の効果】

本発明によれば、離散的に配置されたランドマークを認識し、認識した全てのランドマークの位置を統合し、それらのランドマークの幾何学的な位置関係に基づいてランドマーク地図を作成し、前記ランドマーク地図から移動型ロボット装置の行動可能な範囲を示す行動可能領域地図を作成し、前記行動可能領域地図を用いて前記移動型ロボット装置の自律的な行動を制御するので、移動型ロボット装置の行動範囲の設定が簡便になる。また、ユーザの意図する範囲内での行動が可能となる。また、階段や机の下など、ロボット装置にとって危険な場所に勝手にロボット装置が行くのを防ぐことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施の形態におけるロボット装置の外観構成を示す図であって、ヒューマノイド型の2足歩行のロボット装置を示す斜視図である。

【図 2】

本発明の実施の形態におけるロボット装置の外観構成を示す図であって、4足歩行の動物型ロボット装置を示す斜視図である。

【図 3】

本発明の実施の形態に係るロボット装置の概略を示すブロック図である。

【図 4】

本発明の実施の形態に係るロボット装置を動作するソフトウェアの構成を示す模式図である。

【図 5】

ロボット装置に適用される行動制御装置の機能ブロック図である。

【図 6】

ランドマークの一例を示す模式図である。

【図 7】

ロボット装置が行動可能領域内を自律的に行動するまでの模様を段階的に示した図である。

【図 8】

凸装アルゴリズムの流れを示す図である。

【図 9】

凸包によって作成された行動可能領域地図の具体例を示す図である。

【図 1 0】

領域法によって作成された行動可能領域地図の具体例を示す図である。

【図 1 1】

ポテンシャル場による行動可能領域地図の具体例を示す図である。

【図 1 2】

ランドマークの個数によって行動領域地図作成時に切り換えられる行動領域設定法の具体例を示す図である。

【図 1 3】

障害物認識装置の機能ブロック図である。

【図 14】

平面抽出部 P L E X に入力される視差画像の生成を説明するための図である。

【図 15】

平面抽出部 P L E X が障害物を認識する処理手順を示すフローチャートである。

【図 16】

平面抽出部 P L E X が検出する平面のパラメータを示す図である。

【図 17】

カメラ座標系から足底接地平面座標系への変換処理を説明するための図である。

【図 18】

平面抽出部 P L E X にて抽出された平面上の点を示す図である。

【図 19】

ロボットビューから床面を抽出し、さらに座標変換して 2 次元（床平面）上に障害物を表現したことを示す図である。

【図 20】

ロボット装置の置かれた環境の具体例を示す図である。

【図 21】

障害物地図の具体例を示す図である。

【図 22】

本発明の実施の形態におけるロボット装置のソフトウェアの動作を示すフローチャートである。

【図 23】

同ソフトウェアに入力されるデータの流れを示す模式図である。

【図 24】

本発明の実施の形態におけるロボット装置の自由度構成モデルを模式的に示す図である。

【図 25】

同ロボット装置の回路構成を示すブロック図である。

【図 26】

同ロボット装置のソフトウェア構成を示すブロック図である。

【図 27】

同ロボット装置のソフトウェア構成におけるミドル・ウェア・レイヤの構成を示すブロック図である。

【図 28】

同ロボット装置のソフトウェア構成におけるアプリケーション・レイヤの構成を示すブロック図である。

【図 29】

アプリケーション・レイヤの行動モデルライブラリの構成を示すブロック図である。

【図 30】

同ロボット装置の行動決定のための情報となる有限確率オートマトンを説明する図である。

【図 31】

有限確率オートマトンの各ノードに用意された状態遷移表を示す図である。

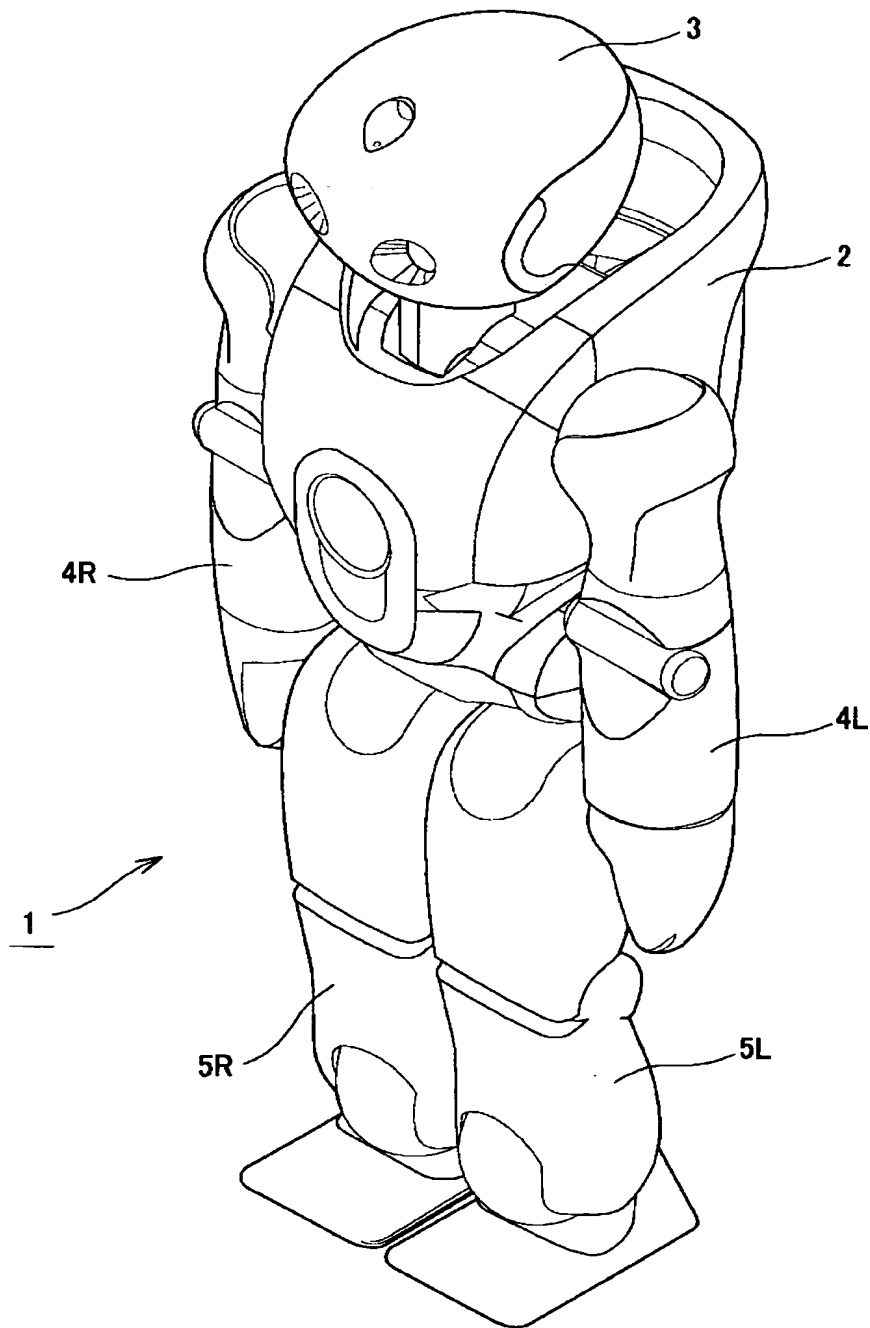
【符号の説明】

1 ロボット装置、410 ランドマーク認識部、420 ランドマーク地図作成部、430 行動可能領域認識部、440 行動制御部、1004 ランドマーク、1110 行動可能領域

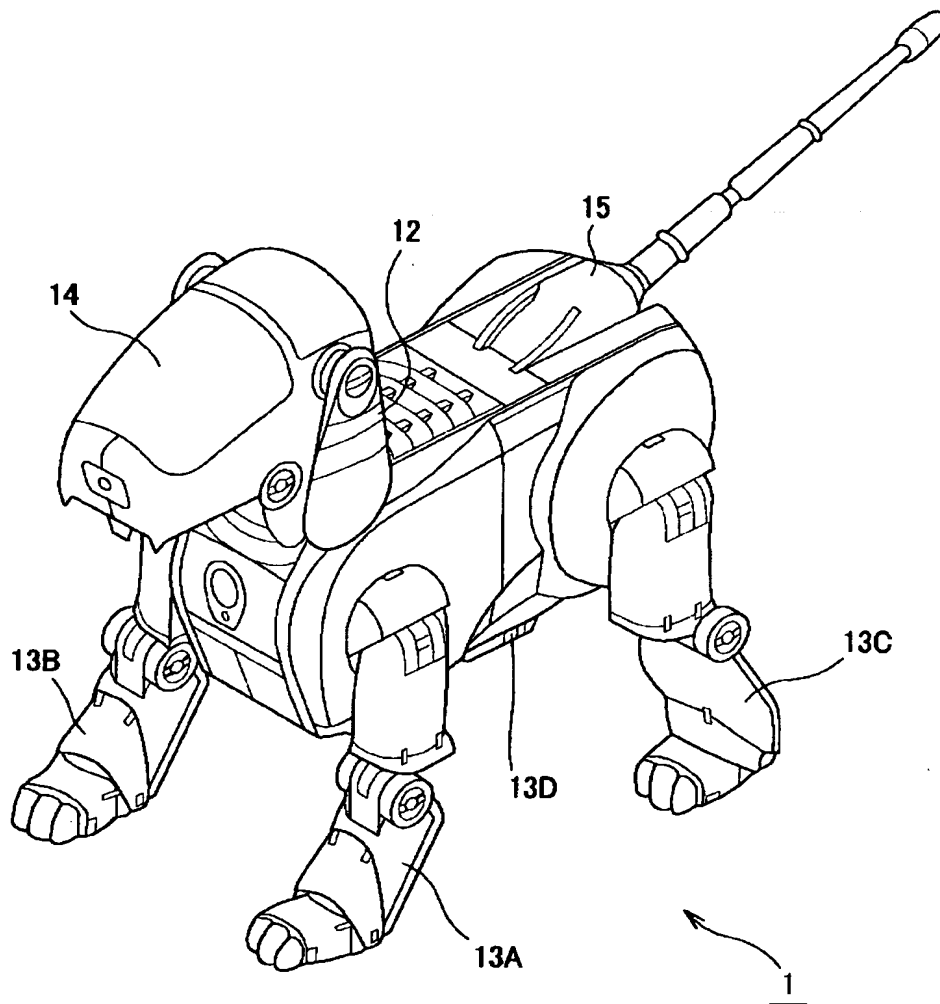
【書類名】

図面

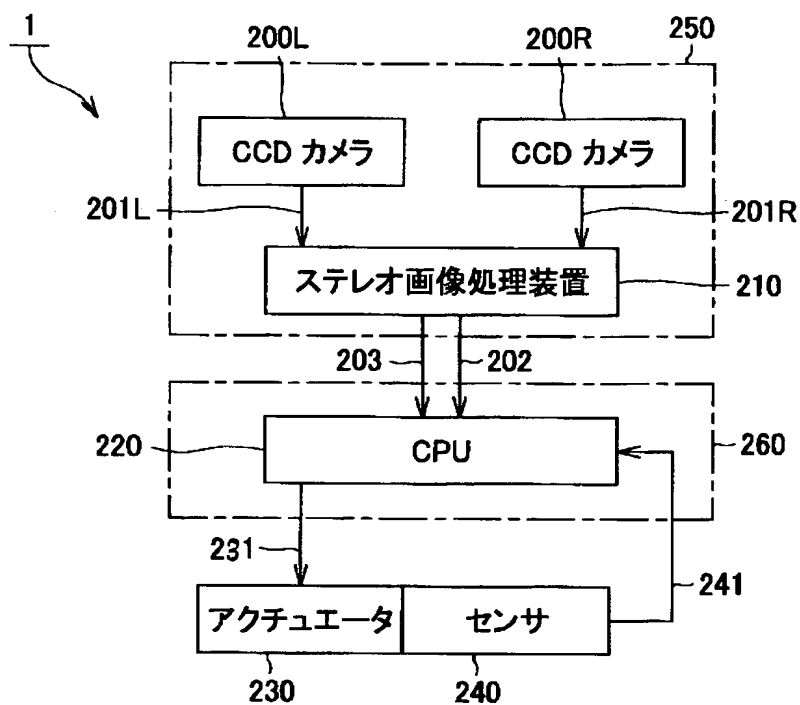
【図 1】



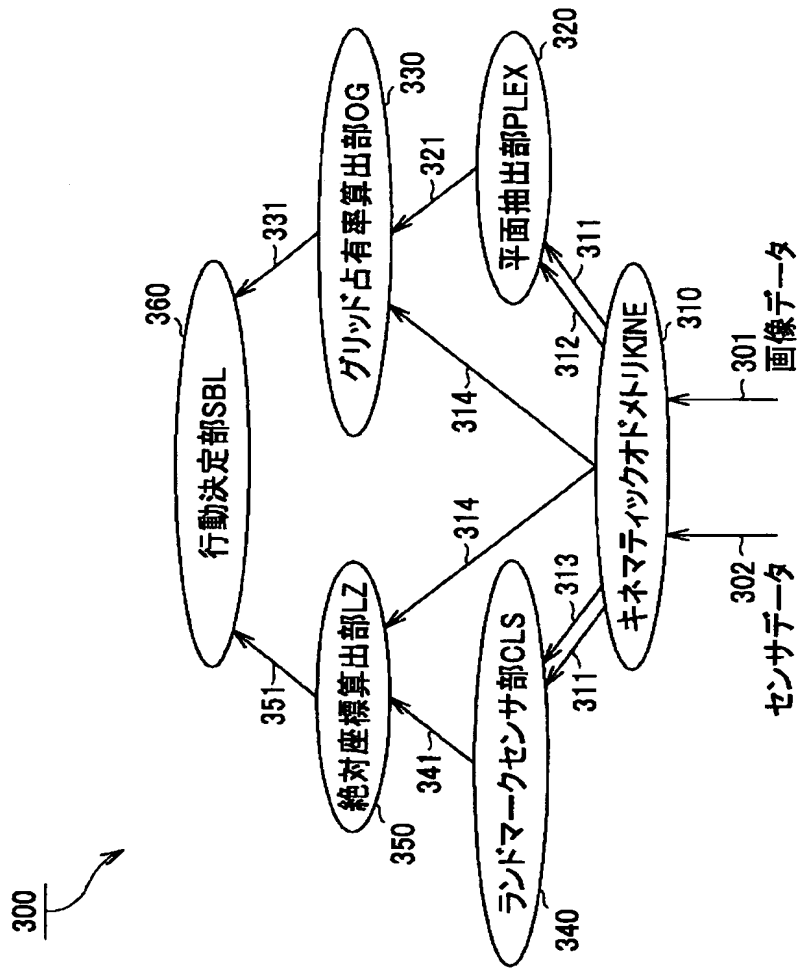
【図 2】



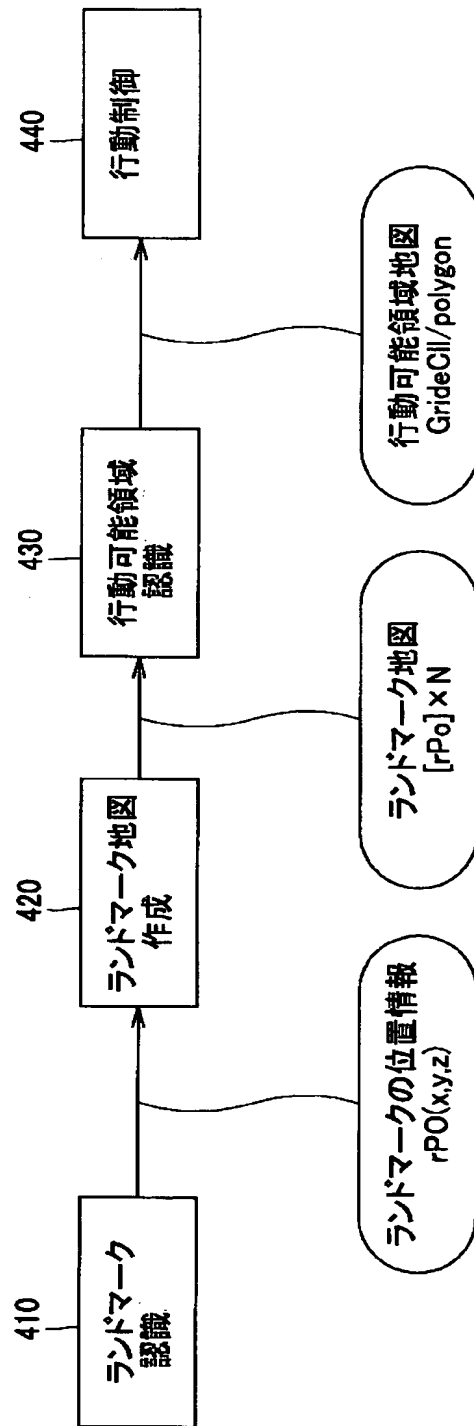
【図 3】



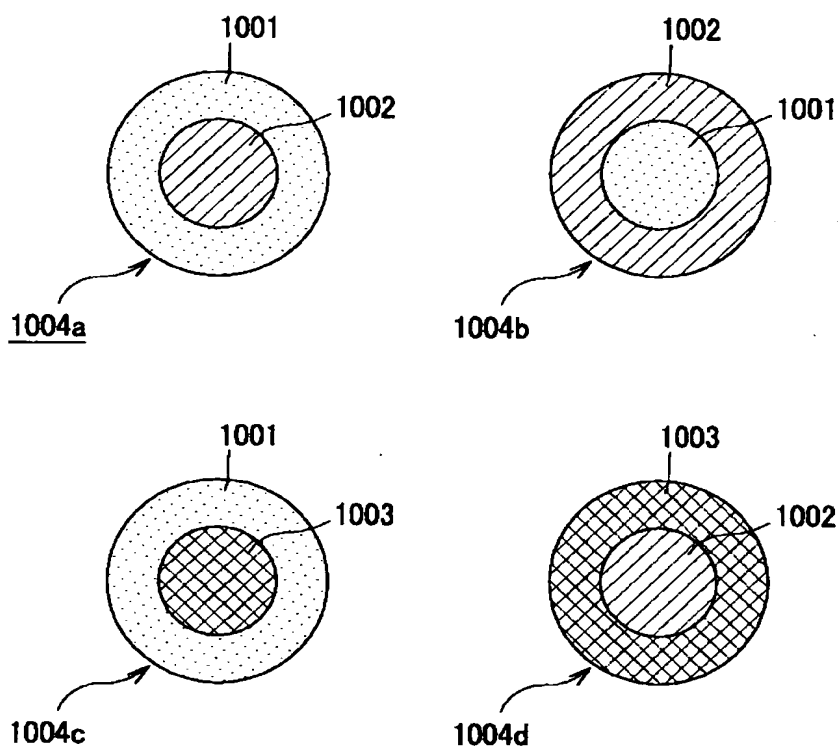
【図 4】



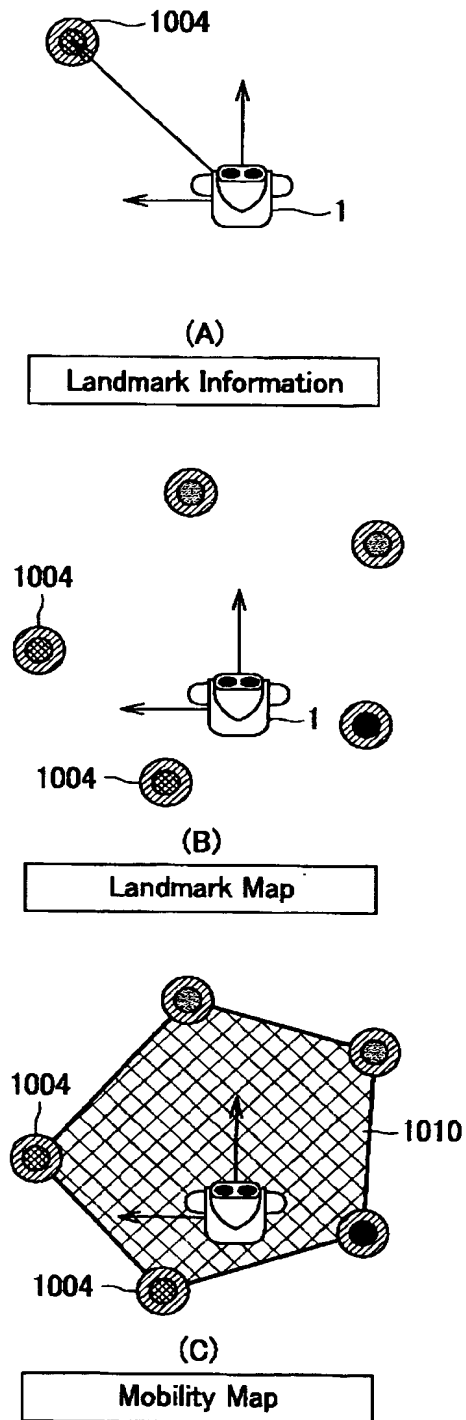
【図 5】



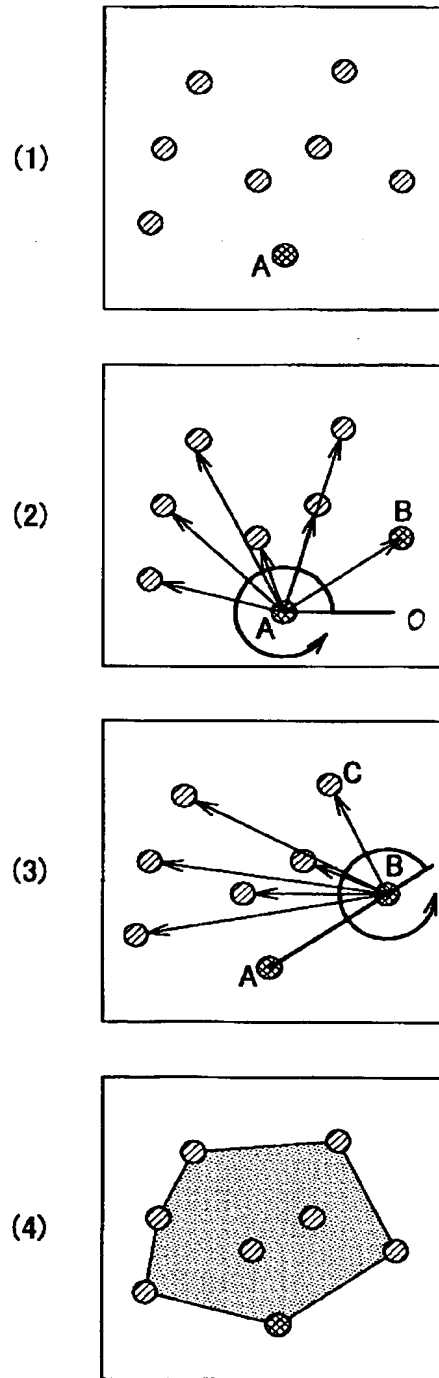
【図 6】



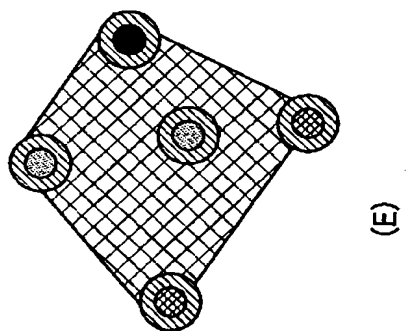
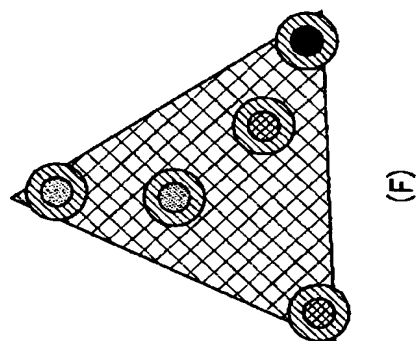
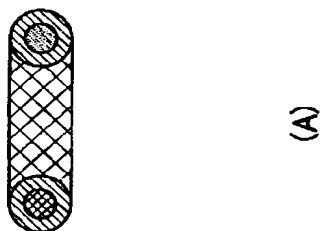
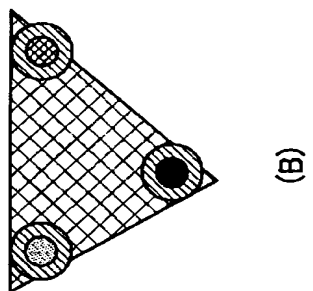
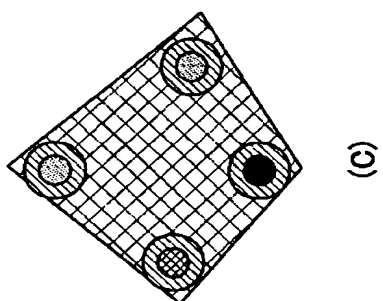
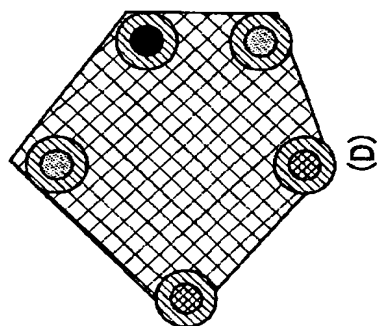
【図 7】



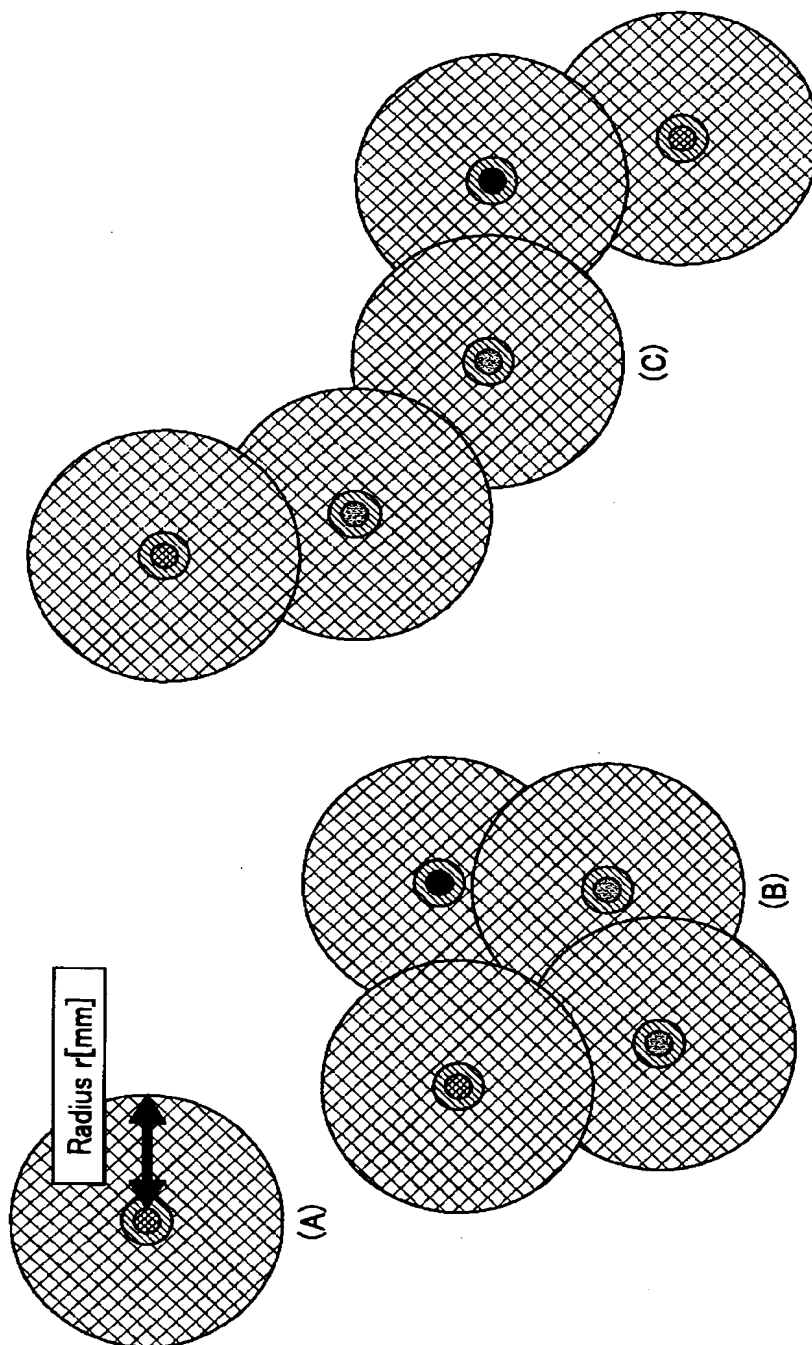
【図 8】



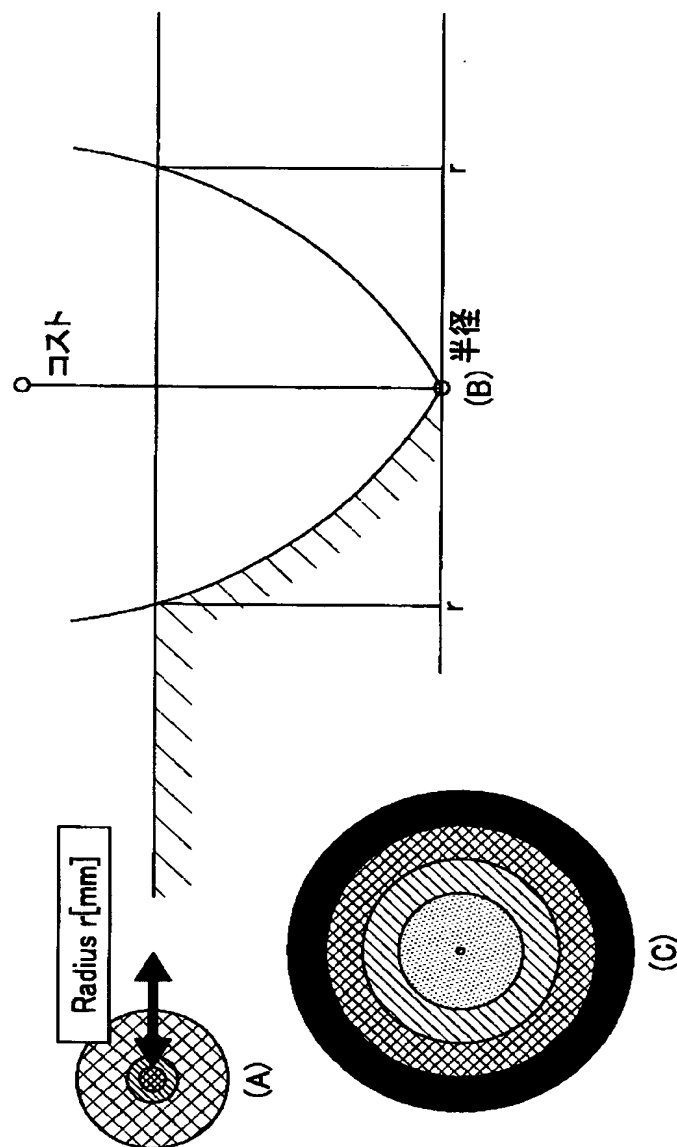
【図 9】



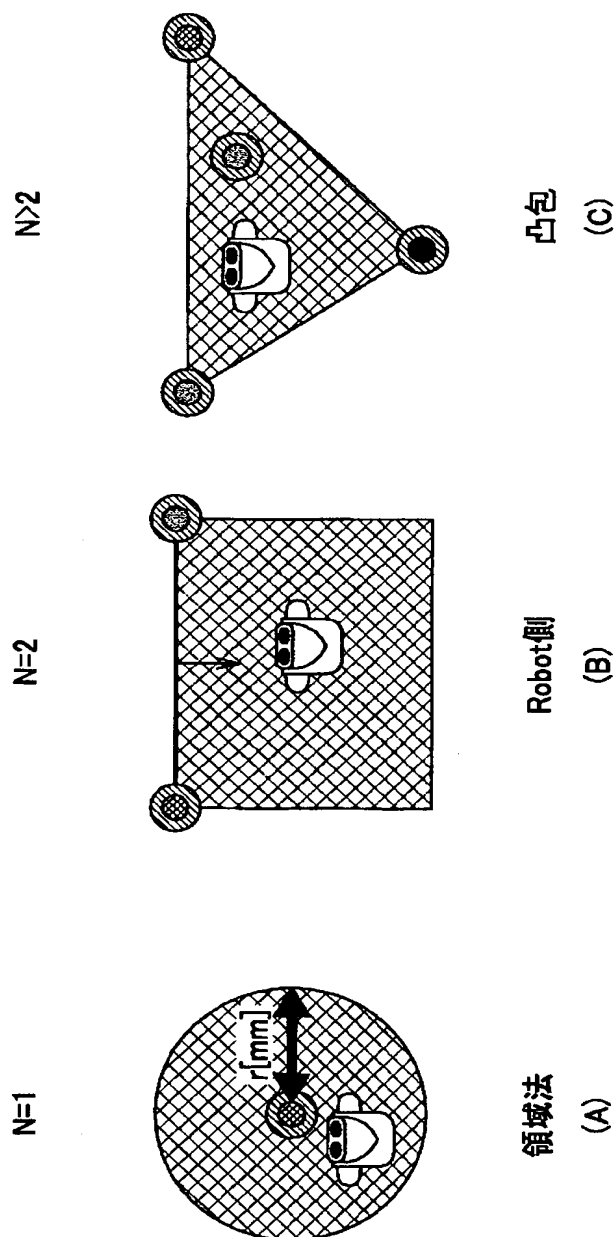
【図 10】



【図 11】

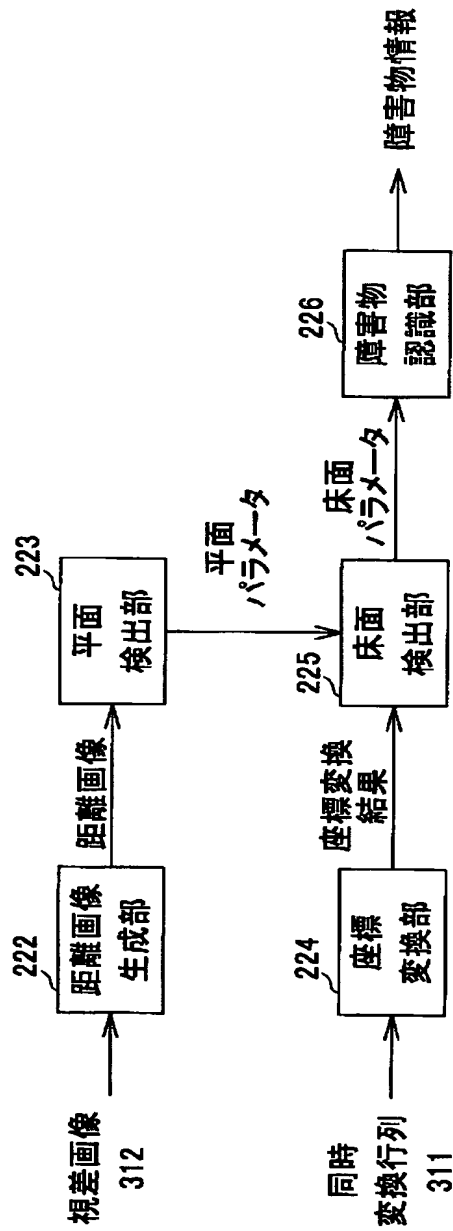


【図 12】

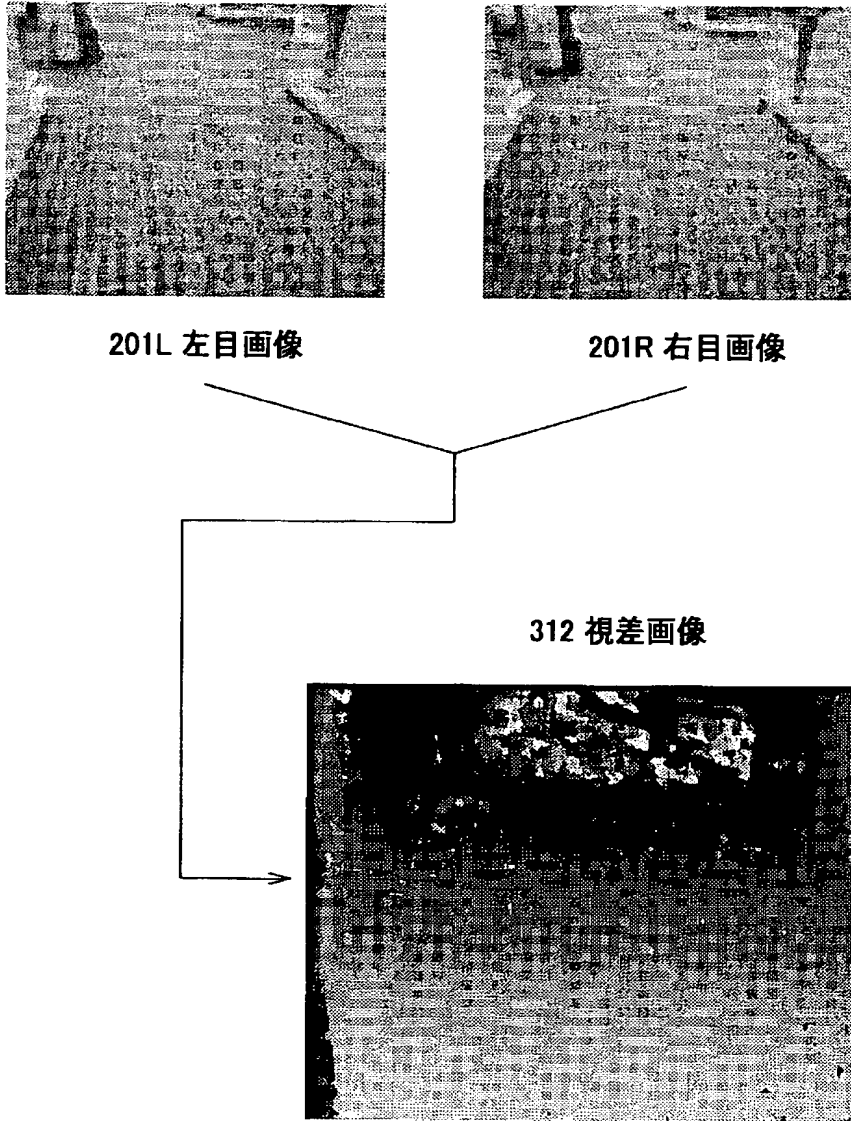


【図 13】

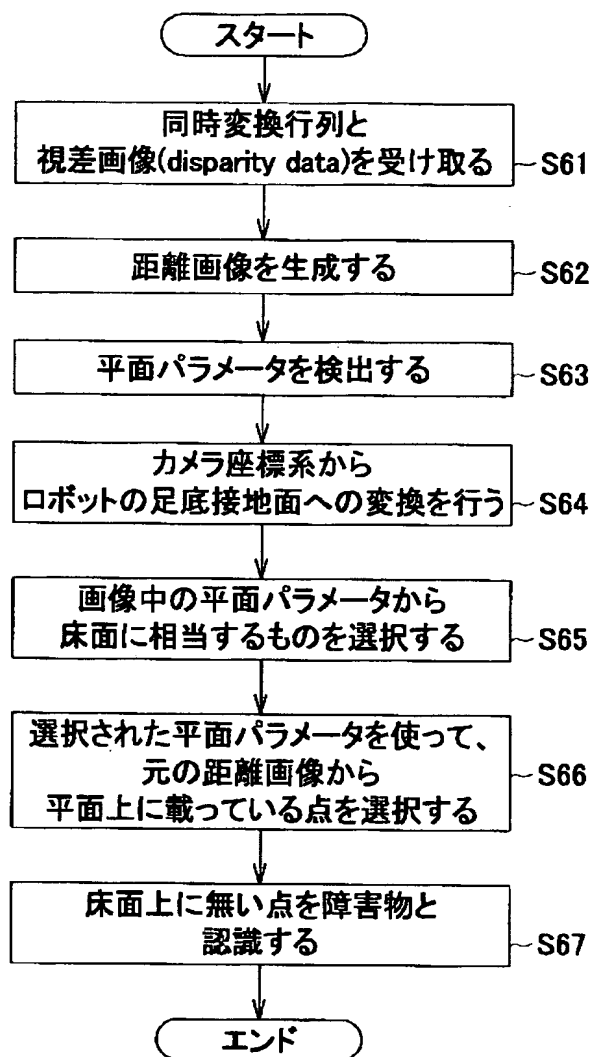
221 障害物認識装置



【図 14】

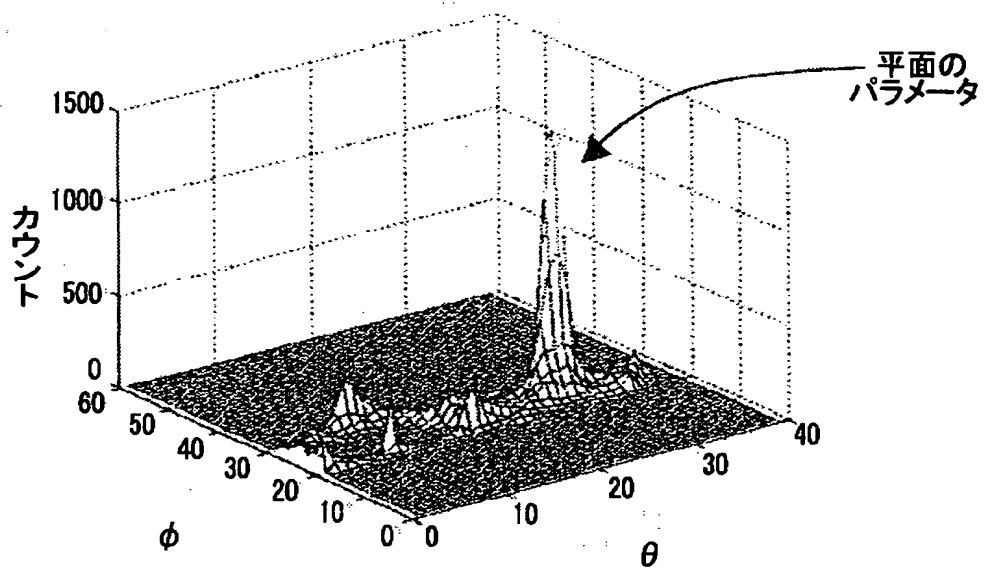


【図 15】

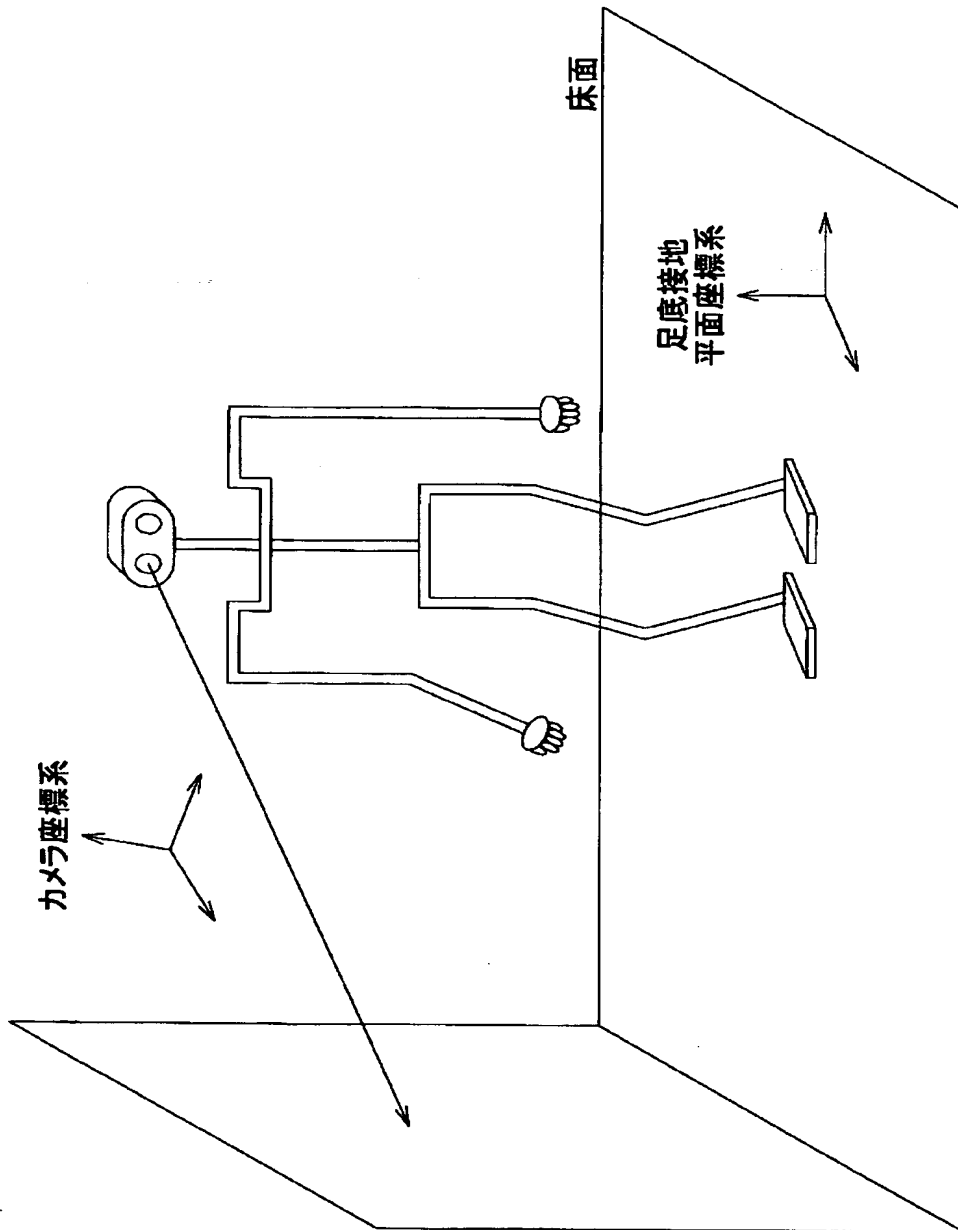


障害物の認識方法

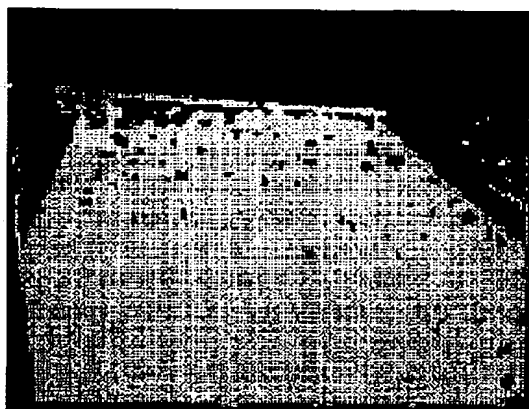
【図 16】



【図 17】

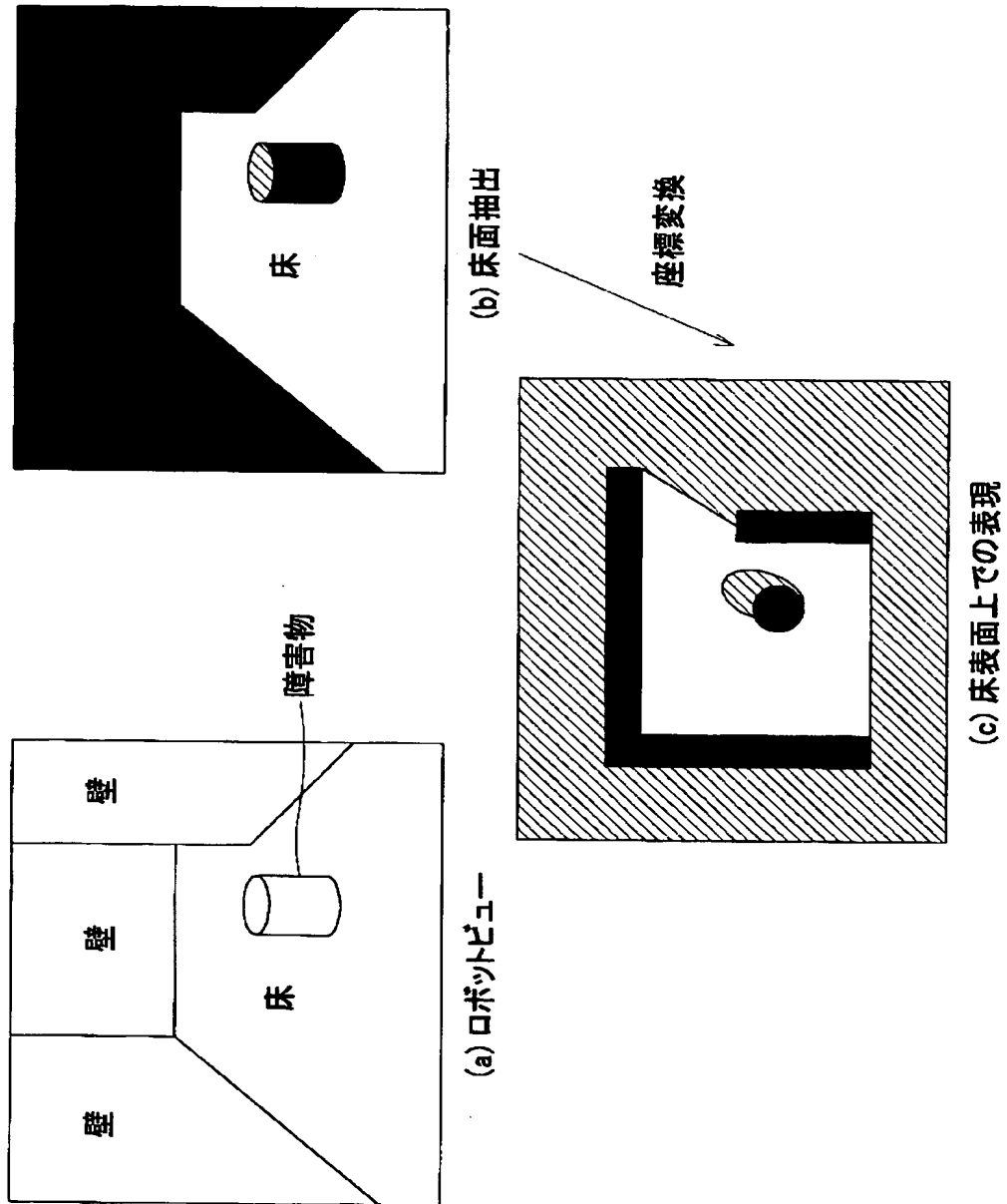


【図 18】

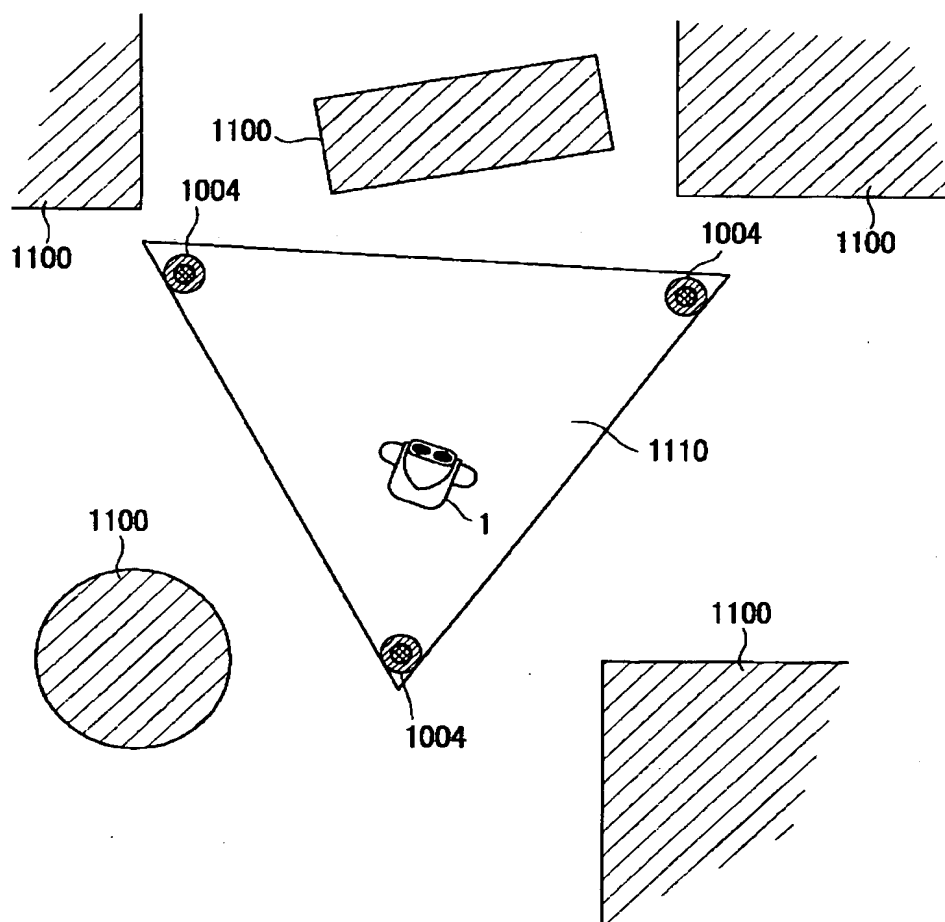


Dth=10mm

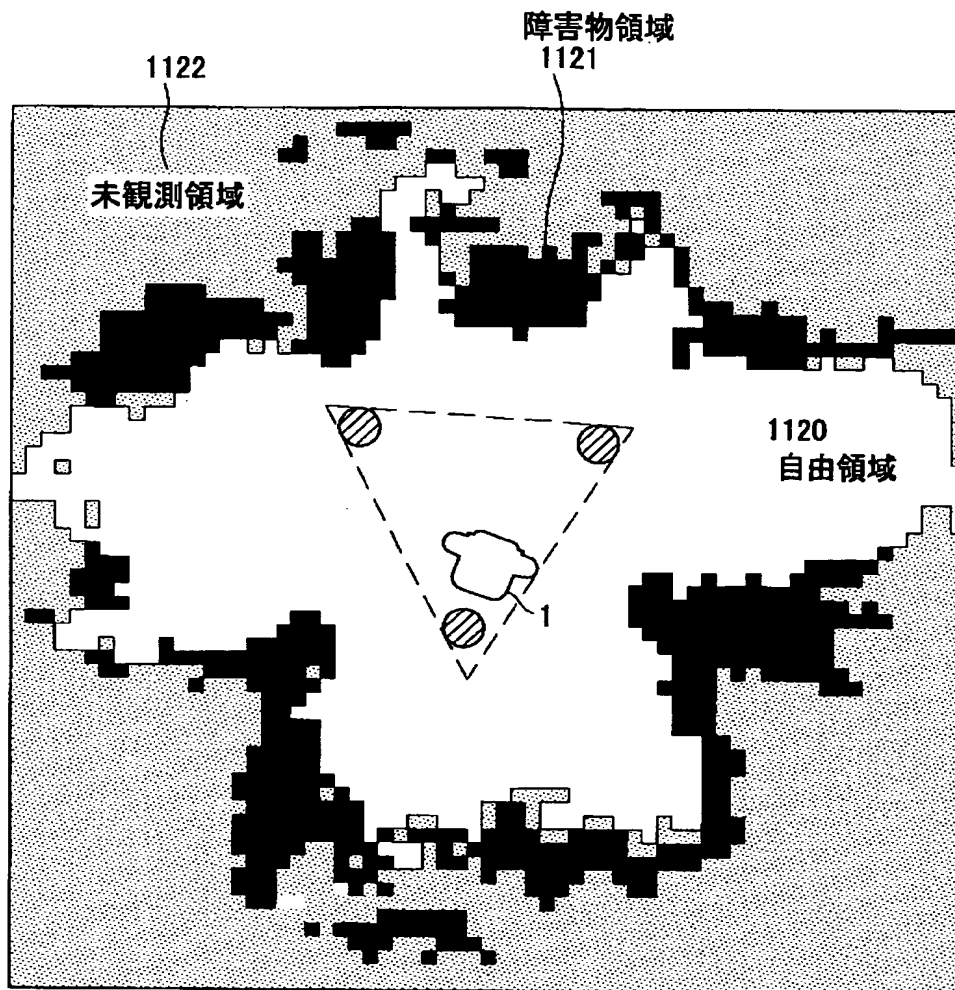
【図 19】



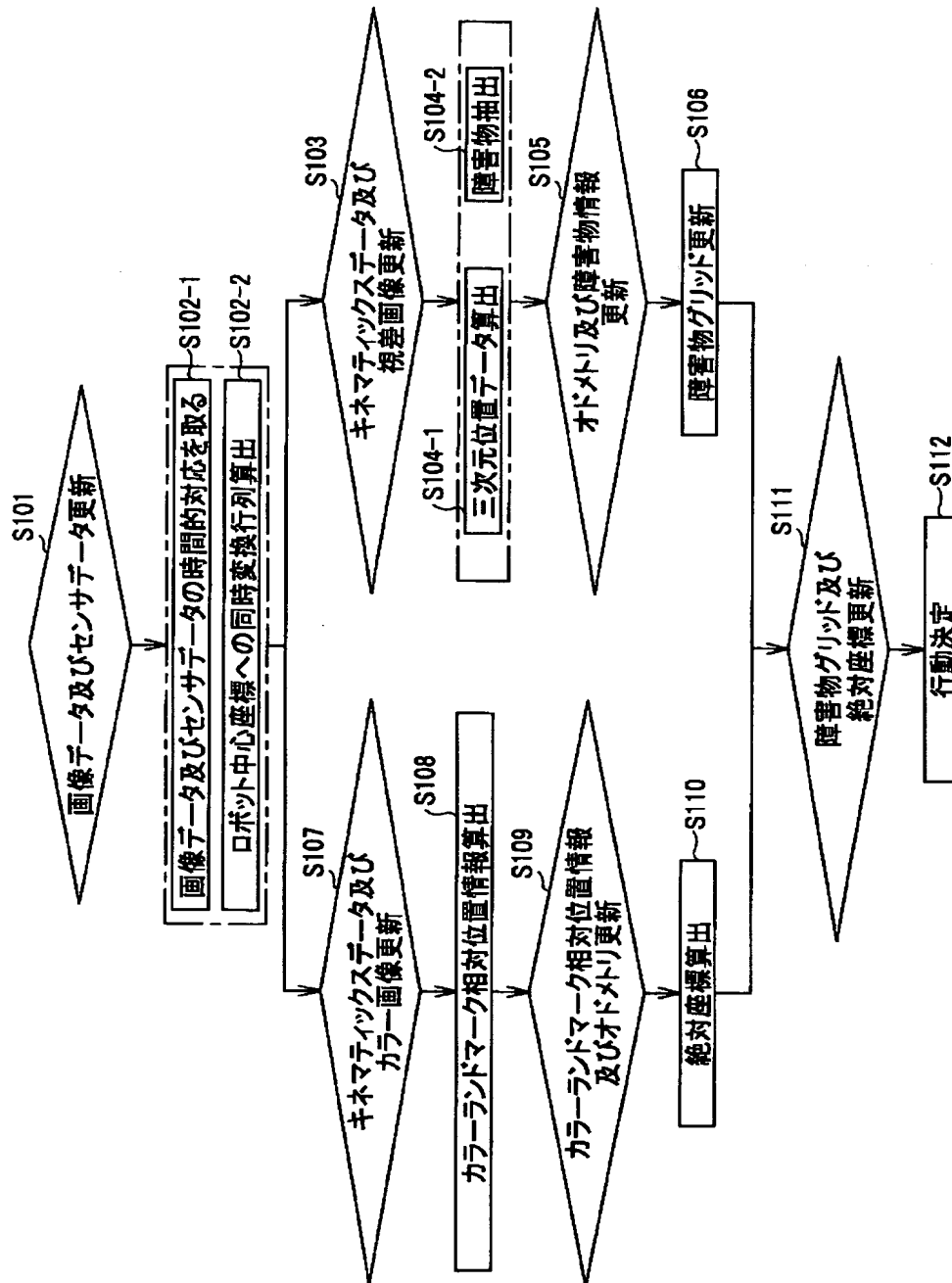
【図 20】



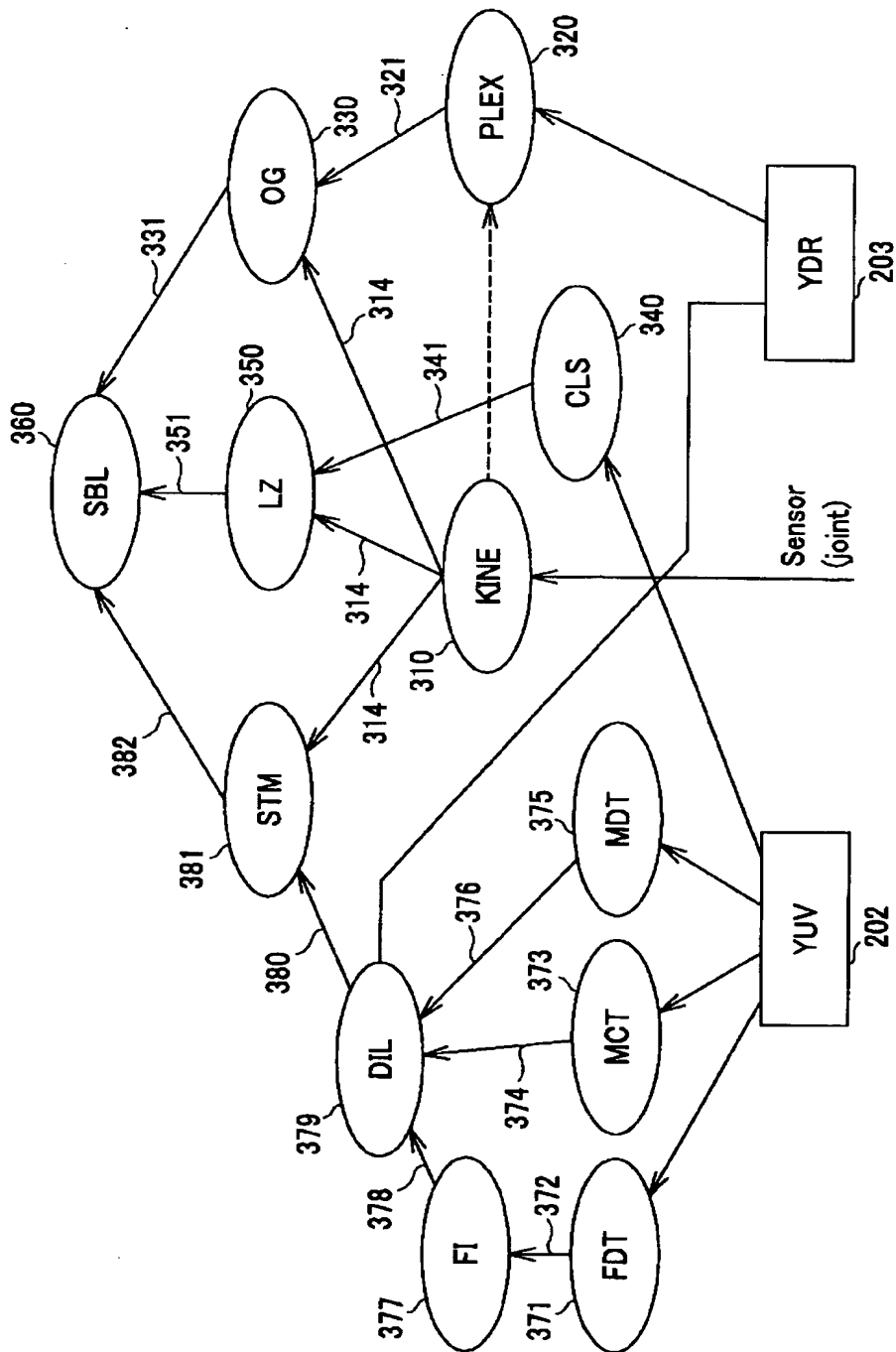
【図 21】



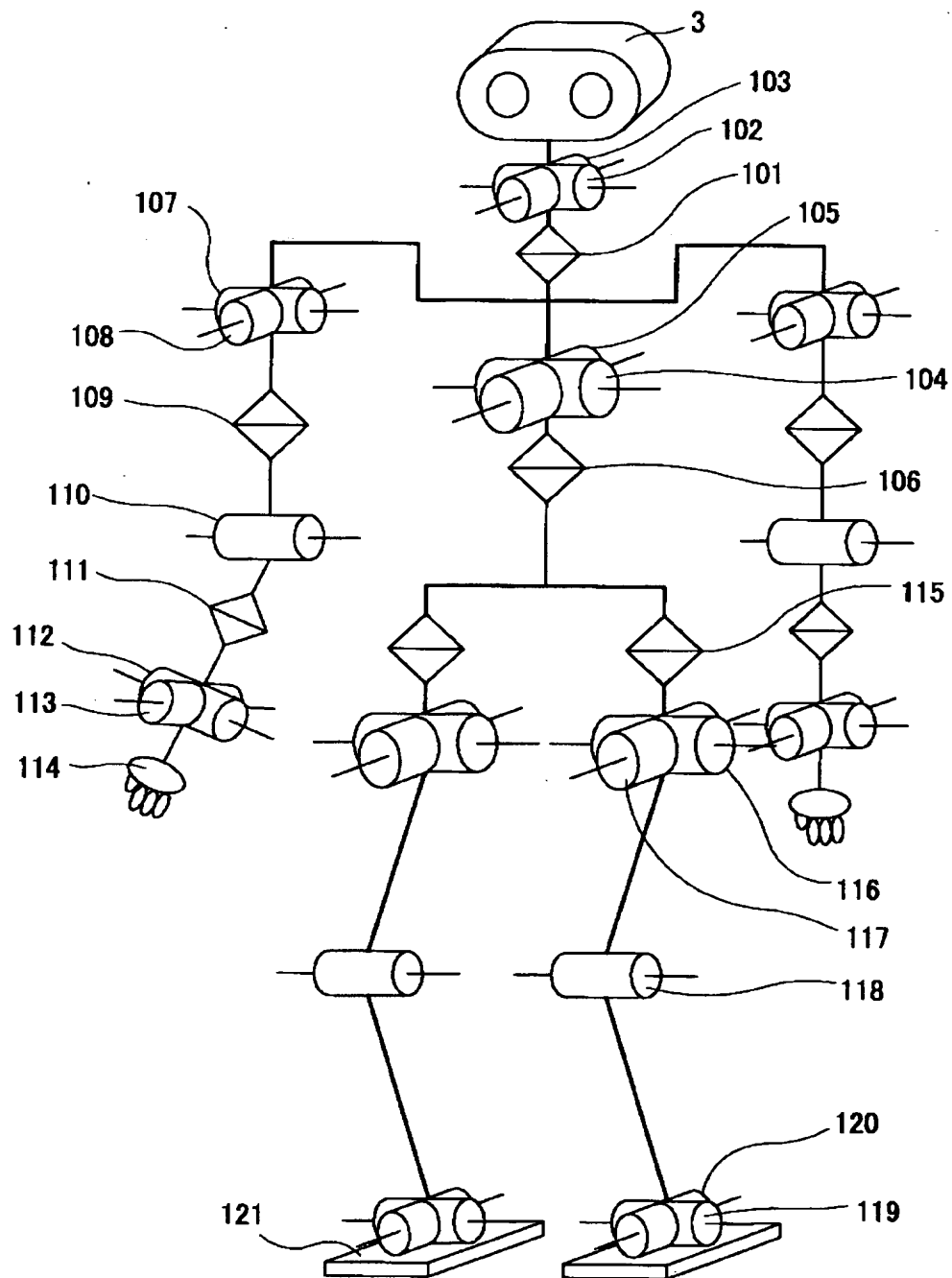
【図 22】



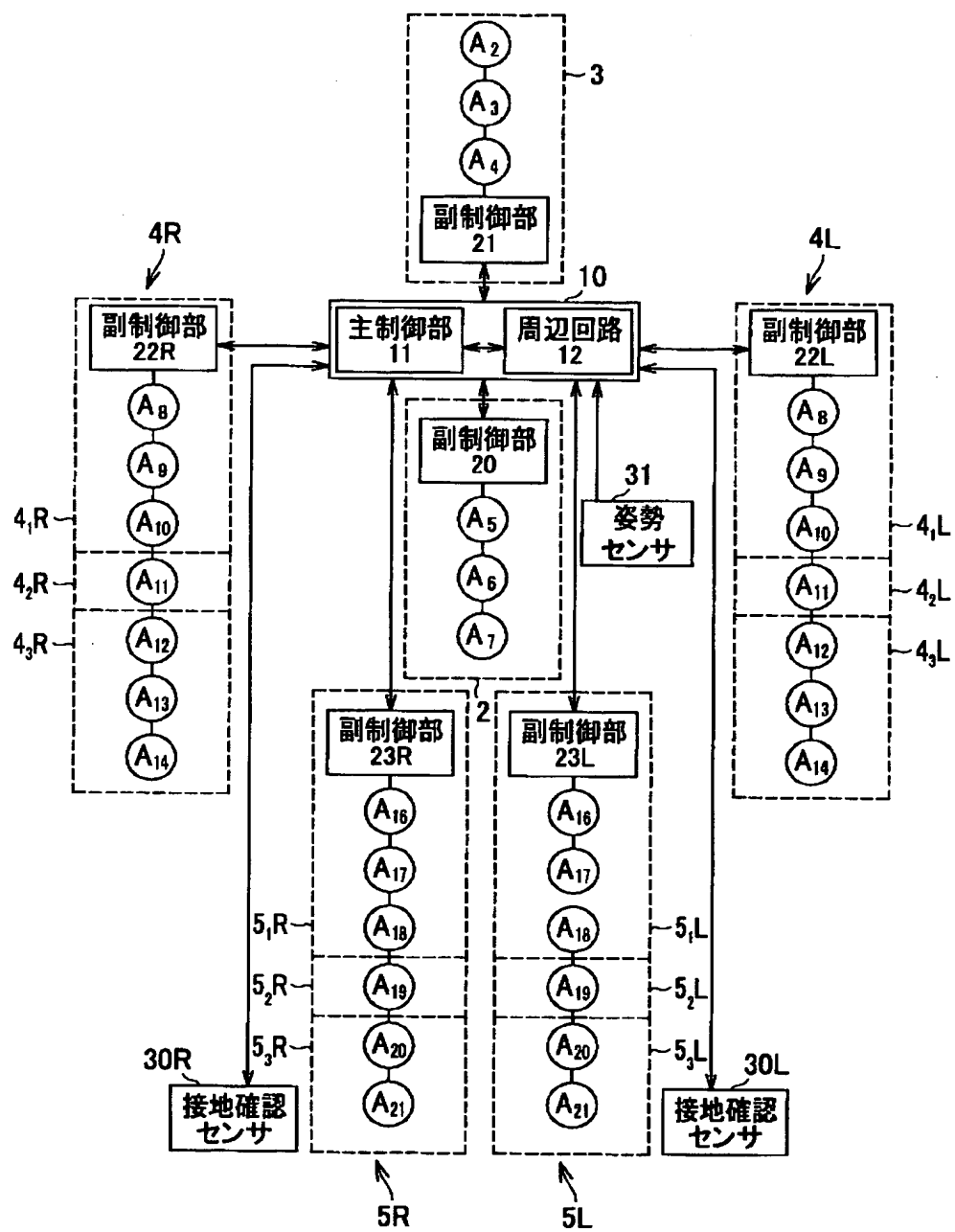
【図 23】



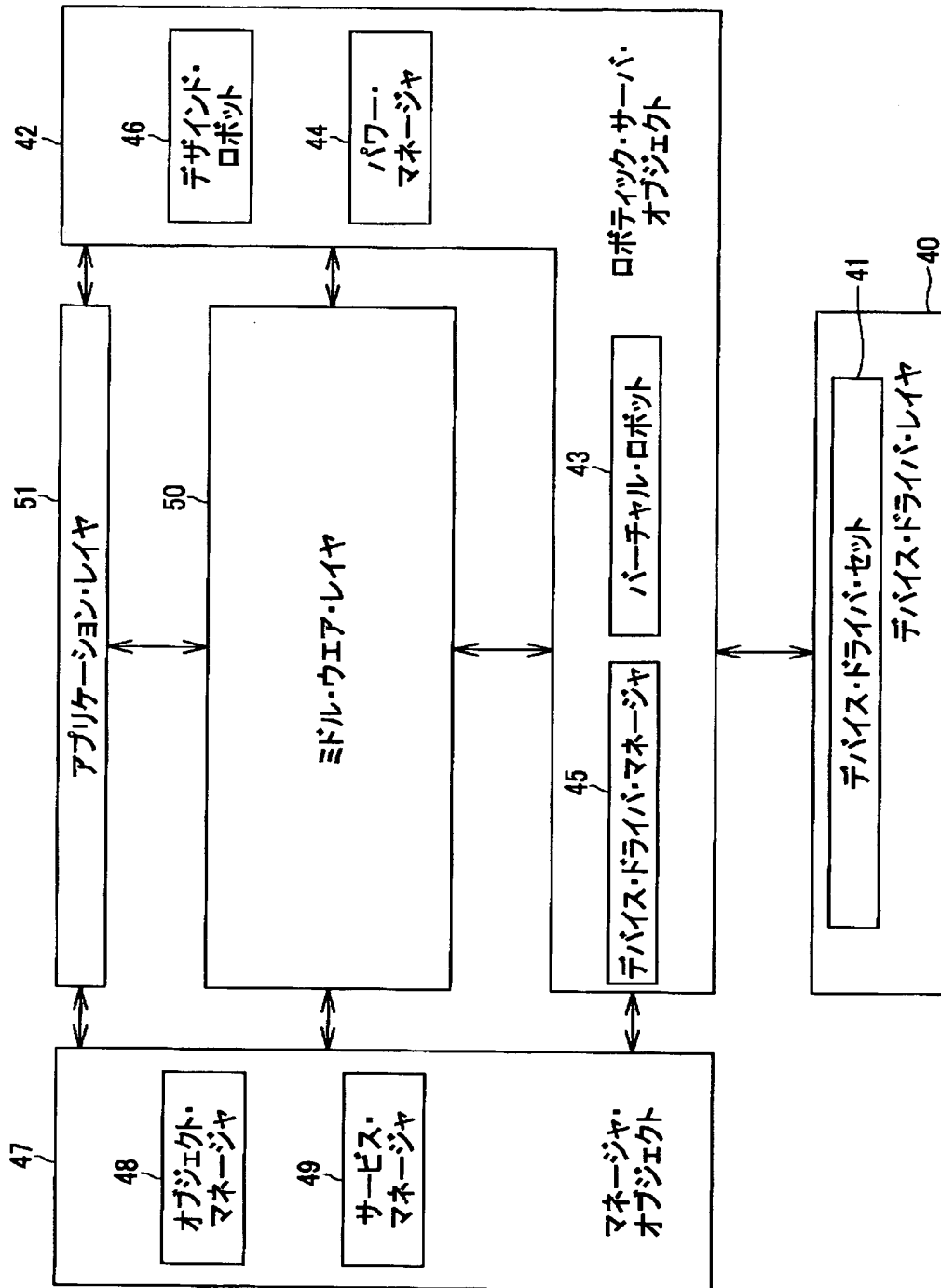
【図 24】



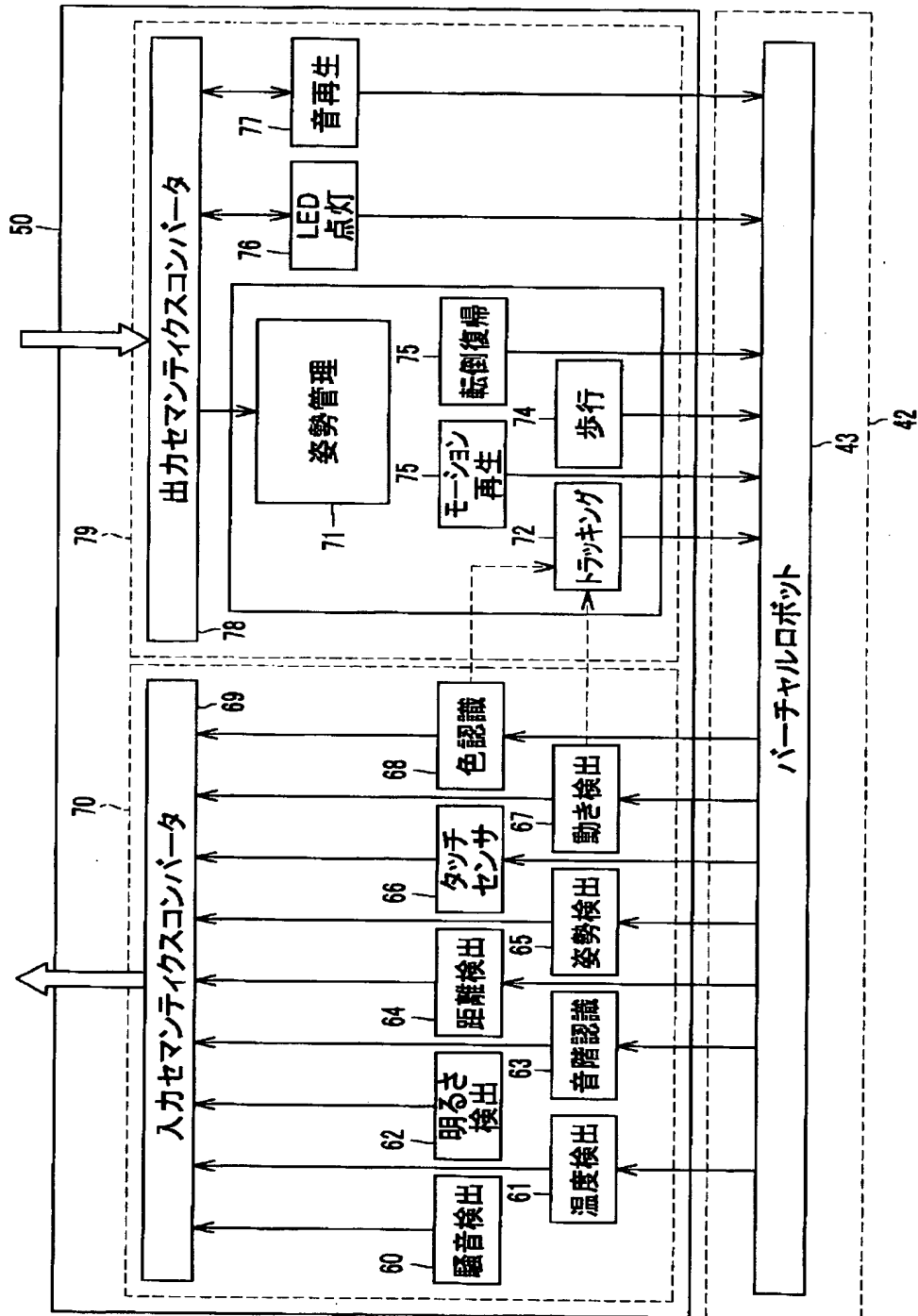
【図 25】



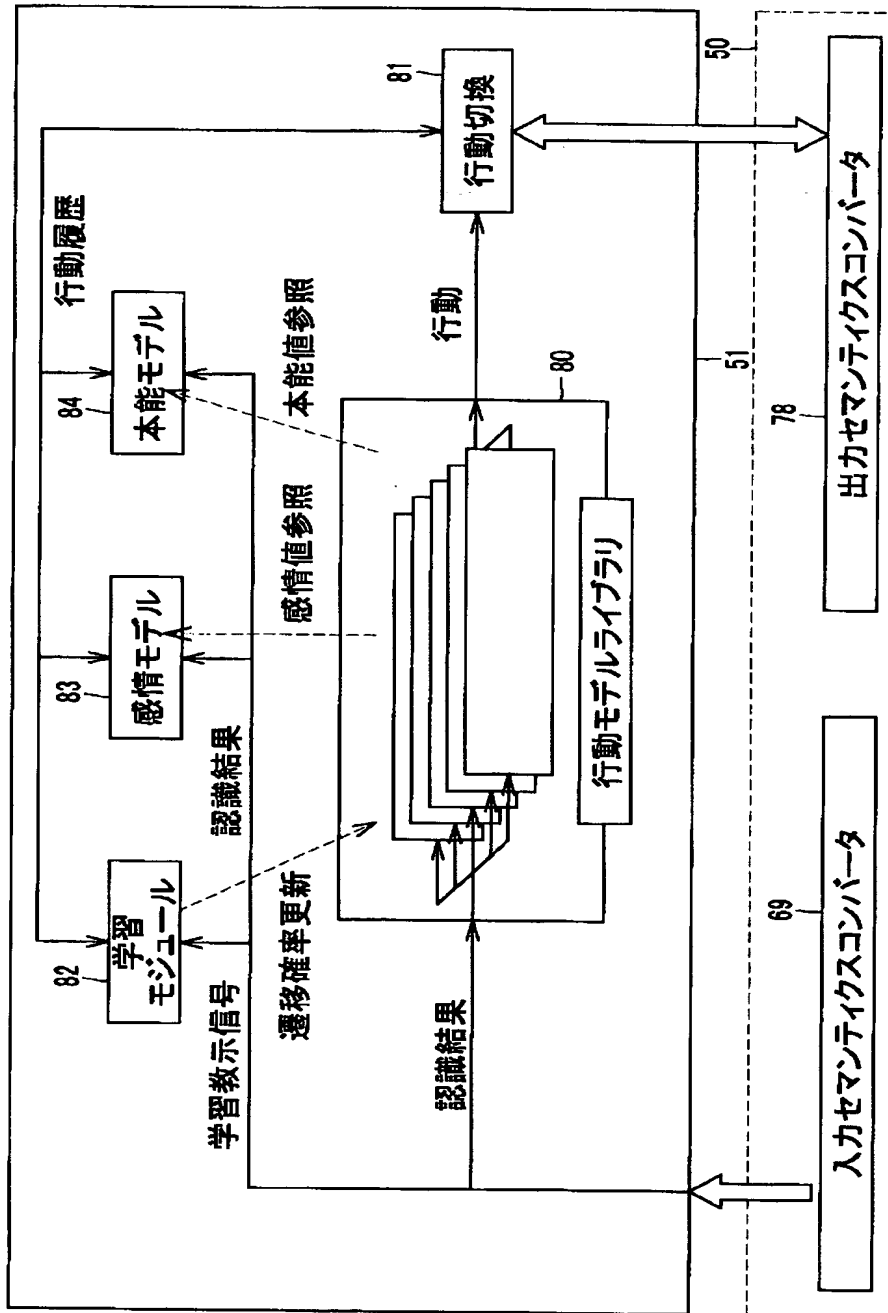
【図 26】



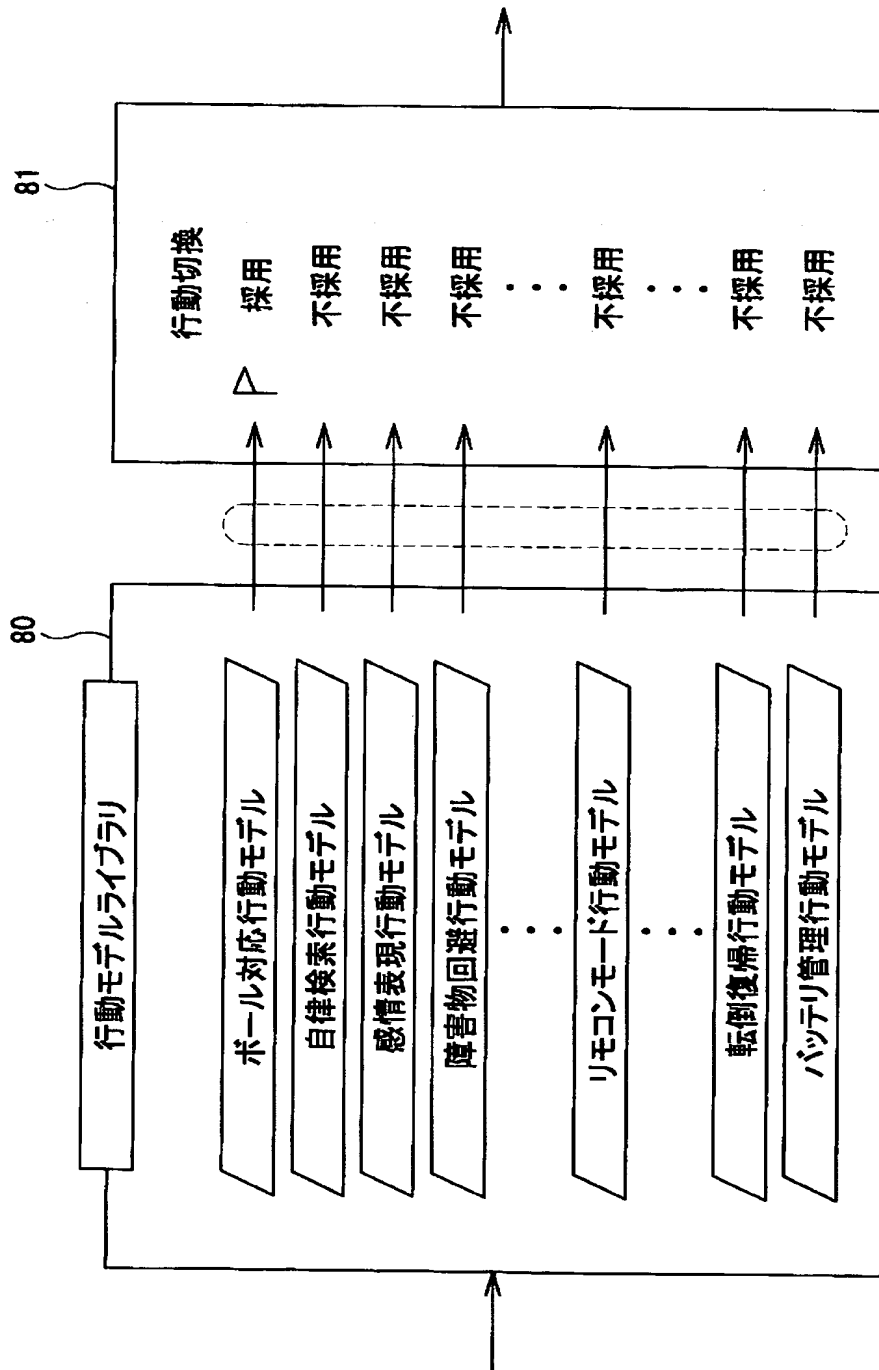
【図 27】



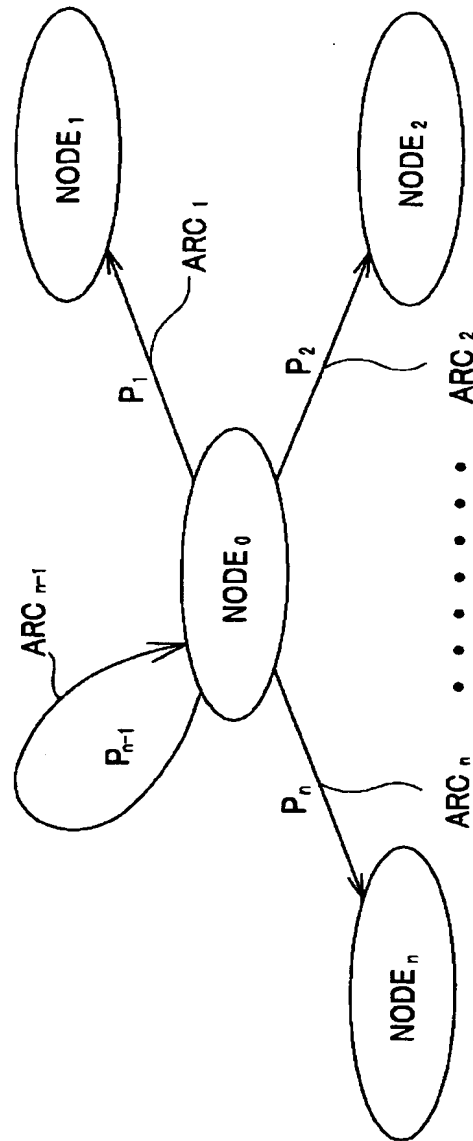
【図 28】



【図 29】



【図 30】



【図 31】

| node 100 遷移先ノード 出力行動 | 入カイベント名 | データ名 | データの範囲 | 他のノードへの遷移確率 | | | | n |
|----------------------------|----------|----------|--------|-----------------------------|----------------------|------------------------|---|----------|
| | | | | A | B | C | D | |
| 1 | BALL | SIZE | 0.1000 | node 120 ACTION 1 30% | node 120 ACTION 2 | node 1000 MOVE BACK | | ACTION 4 |
| 2 | PAT | | | | 40% | | | |
| 3 | HIT | | | | 20% | | | |
| 4 | MOTION | | | | | 50% | | |
| 5 | OBSTACLE | DISTANCE | 0.100 | | | 100% | | |
| 6 | | JOY | 50.100 | | | | | |
| 7 | | SURPRISE | 50.100 | | | | | |
| 8 | | SADNESS | 50.100 | | | | | |

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 ランドマークを用いてロボット装置の行動範囲を簡便に制約することができる行動制御装置を提供する。

【解決手段】 ランドマーク認識部 410 は、ランドマークを一意に認識し、ランドマークの位置情報 $rPo(x, y, z)$ を得る。ランドマーク地図作成部 420 は、ランドマーク認識部 410 が送ってきた全てのランドマーク位置情報 $rPo(x, y, z)$ を統合し、ランドマークの幾何学的な位置関係を統合したランドマーク地図を作成する。行動可能領域認識部 430 は、ランドマーク地図情報 $rPo \times N$ を用いて、ロボットが行動可能な範囲である行動可能領域地図を作成する。行動制御部 440 は、行動可能領域認識部 430 から送られた行動可能領域地図を用いて、ロボット装置 1 が行動可能領域の外に出ない、もしくは中に入らないように自律的な行動を制御する。

【選択図】 図 5

特願 2 0 0 3 - 0 9 2 3 5 0

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 2 1 8 5]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 3 0 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 3 5 号

氏 名

ソニー株式会社